

УДК 666.972-033.3

**ПРИМЕНЕНИЕ КАРБОНАТОСОДЕРЖАЩЕГО ШЛАМА ХИМИЧЕСКОЙ ВОДООЧИСТКИ
В КОМПОЗИЦИОННОМ ВЯЖУЩЕМ ДЛЯ САМОУПЛОТНЯЮЩЕГОСЯ БЕТОНА**

*канд. техн. наук, доц. О.В. ЛАЗАРЕНКО; Н.Л. ШПИЛЕВСКАЯ
(Полоцкий государственный университет)*

Рассматривается применение самоуплотняющегося бетона как одно из приоритетных направлений в современном строительстве. Проанализированы способы снижения его себестоимости. Внимание акцентируется на использовании вторичных продуктов промышленности в качестве активного наполнителя. Изучено влияние шлама химической водоочистки ТЭЦ на физико-механические свойства самоуплотняющегося бетона, показана возможность применения шлама водоочистки как дисперсного наполнителя. Определено оптимальное содержание наполнителя, расчетно-экспериментальным путем определены составы самоуплотняющегося бетона.

Ключевые слова: самоуплотняющаяся бетонная смесь, самоуплотняющийся бетон, состав, гиперпластификатор, тонкодисперсный наполнитель, шлам химической водоочистки.

Применение в современном строительстве самоуплотняющегося бетона – одно из наиболее значимых достижений строительных технологий последних лет, несмотря на более высокую стоимость материала по сравнению с обычным виброуплотненным бетоном. Самоуплотняющийся бетон – результат твердения бетонной смеси, способной растекаться, полностью заполнять опалубку и уплотняться под собственным весом.

Исследования по разработке состава самоуплотняющихся бетонов впервые были проведены в Японии в начале 1990-х годов в связи с необходимостью предотвращения технологических дефектов железобетонных конструкций, связанных с недостаточным уплотнением бетонной смеси, и продолжают до настоящего времени. В зависимости от способа обеспечения стойкости к расслаиванию и водоотделению различают два основных типа самоуплотняющихся бетонных смесей: 1) мелкодисперсный тип (введение тонкодисперсных минеральных наполнителей); 2) стабилизаторный тип (использование стабилизирующих добавок). Более полно обеспечивают заданные свойства смесей, а также улучшение физико-механических и эксплуатационных характеристик бетона карбонатные тонкодисперсные минеральные наполнители на основе вторичных продуктов различных отраслей промышленности.

В группе вторичных карбонатных продуктов предприятий Республики Беларусь выявлен значительный объем минерального шлама химической водоочистки тепловых электростанций, хранящегося в шламонакопителях или на промышленных свалках. Однако проблема утилизации шлама в Беларуси до настоящего времени полностью не решена [1]. Имеющиеся исследования по его использованию свидетельствуют о том, что шлам химической водоочистки применяют в строительной индустрии в качестве добавки в битумные композиции и самоуплотняющийся песчаный бетон, наполнителя в красочные составы и кладочные растворы, для укрепления грунтов и изготовления низкомарочных минеральных вяжущих [2]. Вместе с тем возможность применения минерального шлама химической водоочистки в качестве дисперсного наполнителя вяжущей композиции многокомпонентного самоуплотняющегося бетона изучена недостаточно.

Исследовательская часть. Основные компоненты для получения самоуплотняющегося бетона – портландцемент, крупный и мелкий заполнители, разжижитель, вода затворения. В настоящее время в качестве разжижителя применяют высокоэффективную химическую добавку – гиперпластификатор на основе полиакрилата и поликарбоксилата, впервые разработанную в Японии в 90-х годах прошлого столетия [3]. Гиперпластификатор обеспечивает высокую удобоукладываемость (распływ конуса от 46 см и выше 76) самоуплотняющейся бетонной смеси, удаление вовлеченного воздуха при самоуплотнении, уменьшает расслоение и водоотделение бетонной смеси, повышает плотность цементного теста за счет снижения водоцементного отношения. Однако плотность цементного теста даже в случае предельного снижения водоцементного отношения не достигает плотности заполнителей, составляющей 2500...2700 кг/м³, и не обеспечивает достаточной раздвижки их зёрен, особенно крупных, при которой бетонная смесь будет стойкой к сегрегации. Полное отсутствие водоотделения и расслоения самоуплотняющейся бетонной смеси достигается за счет увеличения количества портландцемента и мелкого заполнителя, уменьшения количества крупного заполнителя, введения в бетонную смесь дополнительных компонентов: добавок-стабилизаторов, тонкодисперсных инертных или активных наполнителей или сочетания добавок и наполнителей [4–6].

Тонкодисперсные минеральные наполнители в составе вяжущей композиции имеют преимущества перед органическими добавками-стабилизаторами: обеспечивают высокую раздвижку зерен крупного и мелкого заполнителя, снижают трение между компонентами смеси, повышают физико-механические и эксплуатационные характеристики бетона, в то время как добавки только стабилизируют водоотделение и расслоение самоуплотняющейся бетонной смеси. Активные минеральные наполнители, кроме перечисленных преимуществ, реагируют с портландцементом, способствуют увеличению объема и степени кристалличности образующихся гидратов, позволяют снизить расход вяжущего и, следовательно, стоимость самоуплотняющегося бетона [7]. В связи с этим применение активных минеральных наполнителей при проектировании состава самоуплотняющегося бетона сегодня является приоритетным направлением исследований ученых.

Анализ результатов проведенных исследований показал следующее:

- разные точки зрения на эффективность, оптимальную дисперсность и расход наполнителей;
- основные химические соединения большинства активных наполнителей – карбонат кальция и основной карбонат магния;
- способы получения наполнителей – механическая, термическая обработка исходного сырья или их сочетание, что приводит к удорожанию самоуплотняющегося бетона;
- снижение стоимости возможно за счет применения в качестве активных минеральных наполнителей вторичных продуктов и техногенных отходов различных отраслей промышленности [8].

Таким образом, представляет интерес исследование возможности применения в качестве активных наполнителей в самоуплотняющемся бетоне карбонатосодержащих вторичных продуктов, образующихся на предприятиях различных отраслей промышленности и требующих утилизации.

В Республике Беларусь ежегодно накапливается большое количество вторичных продуктов, включая различные шламы. С позиции применения вторичных продуктов производств в качестве активных наполнителей в самоуплотняющемся бетоне наибольший интерес представляют карбонатосодержащие шламы водоочистки тепловых электростанций, которые практически не утилизируют (хранят в шламонакопителях, промышленных свалках, закачивают в грунт). Наиболее остро вопрос утилизации шлама стоит в Витебской области. На территории промышленного региона образуется 3,2 тыс. т шлама в год, что составляет около половины всего объема в республике. Основной объем шлама (2,9 тыс. т) образуется на Новополоцкой ТЭЦ [9]. Шлам химической водоочистки образуется в результате устранения жесткости воды путем известкования, обработки сульфатом железа, осветления и имеет пастообразную консистенцию. Состав шлама в сухом состоянии практически не изменяется относительно пастообразного и содержит карбонат кальция (CaCO_3) в количестве 63,7...69,8% и основной карбонат магния ($3\text{MgCO}\cdot\text{MgOH}\cdot 2\text{H}_2\text{O}$) – 6,4...10% [2].

Результаты научных исследований, связанных с использованием шлама водоочистки ТЭЦ, отражены в научных трудах и специальных работах по данному вопросу. В частности, в работе [9] установлено, что введение в состав кладочных растворов шлама химической водоочистки ТЭЦ способствует увеличению объема и степени кристалличности образующихся гидратов, среди которых возрастает доля более прочных и устойчивых низкоосновных гидросиликатов кальция, в цементной матрице локализуются внутренние дефекты – микротрещины, макро- и капиллярные поры, а также уменьшается их количество и размеры, снижается концентрация напряжений. В работе [10] исследовано влияние сухого шлама водоочистки на свойства цементного камня. Определены оптимальные дозировки шлама (2,5...7,5%) при совместном введении с поликарбоксилатным пластификатором Melflux (0,6%), при которых прочность цементного камня в возрасте 7 суток твердения на 12% выше, чем бездобавочного. В исследовании [2] выявлено, что использование шлама водоочистки в качестве наполнителя в песчаный самоуплотняющийся бетон эффективно при совместном вводе 15% шлама и 5% микрокремнезема. Получен состав самоуплотняющегося песчаного бетона с расходом цемента 380 кг/м^3 , подвижностью 72 см и прочностью 35 МПа. В изобретении [11] описано использование шламовых отходов ТЭЦ без дополнительной обработки в качестве демпфирующей добавки в бетонную смесь взамен 2,5...3,0% кварцевого песка, при этом уменьшились плотность и водоотделение бетонной смеси, снизилась себестоимость продукции, повысилась морозостойкость бетона.

Таким образом, анализ результатов исследований по использованию в цементных композициях в качестве наполнителя карбонатосодержащего шлама химической водоочистки ТЭЦ свидетельствует о том, что данный техногенный отход может быть использован при изготовлении самоуплотняющегося бетона. Исходя из этого цель представляемой нами работы – разработка состава самоуплотняющегося бетона с использованием шлама химической водоочистки в качестве активного наполнителя вяжущей композиции.

При разработке состава самоуплотняющегося бетона значимая роль принадлежит исследованиям по определению влияния содержания шлама химической водоочистки и гиперпластификатора на физико-механические свойства цементного теста и камня, основного составляющего тяжелого бетона.

При проведении исследований использовались материалы:

- портландцемент марки ПЦ500-Д0 производства ОАО «Красносельскстройматериалы»: активность R_c – 50 МПа, истинная плотность ρ_c – 3200 кг/м³, нормальная густота $K_{н.г}$ – 0,27;

- мелкий заполнитель кварцевый песок карьера «Боровое»: модуль крупности $M_{кр}$ – 2,5; удельная поверхность $S_{уд.м}$ – 7,5 м²/кг; водопоглощение по массе W_m – 0,8%; истинная плотность зерен $\rho_{м.з}$ – 2650 кг/м³; содержание пылевидных частиц – 2%;

- крупный заполнитель гранитный щебень РУПП «Гранит»: размер зерен от 5 до 20 мм; удельная поверхность $S_{уд.к}$ – 0,36 м²/кг; водопоглощение по массе W_m – 0,45%; истинное W_k – 0,45%; истинная плотность зерен $\rho_{к.з}$ – 2700 кг/м³; содержание пылевидных частиц – 1,1%;

- дисперсный наполнитель карбонатосодержащий шлам химической водоочистки теплоэлектроцентралей [12]: удельная поверхность $S_{уд.ш}$ – 1240 м²/кг; истинная плотность $\rho_{ш}$ – 2510 кг/м³; насыпная плотность – 870 кг/м³. Химический состав шлама водоочистки, % по соединениям: SiO₂ – 0...4,9; Fe(OH)₃ – 5,8...7,4; CaSO₄·2H₂O – 3...9,5; CaCO₃ – 62,8...68,2; CaSiO₃ – 3,9...6,6; 3MgCO·MgOH·2H₂O – 5,8...10,6; химическая добавка – гиперпластификатор Стахемент-2000-М Ж30 [13]. На данный момент этот наполнитель наиболее распространенный и эффективный среди добавок, используемых в составах самоуплотняющегося бетона.

Для получения наполнителя шлам высушивали, размалывали, просеивали. Максимальный размер частиц наполнителя составил 80 мкм. Нормальную густоту теста определяли по ГОСТ 310.3-76, прочность на сжатие цементного камня оценивали на образцах-кубиках размером 20×20×20 мм нормального твердения, изготовленных из цементного теста нормальной густоты по ГОСТ 310.4-81. Исследованы свойства 5-ти составов: 1-й – без наполнителя; 2–5-й с вяжущей композицией (взамен части цемента вводили 10, 20, 30, 40% наполнителя).

Результаты исследований приведены в таблице 1 и отображены на рисунках 1–3.

Таблица 1. – Нормальная густота и прочность цементного камня

| № состава | Расход наполнителя, % от массы цемента | Нормальная густота, относ. ед. | Прочность, МПа | |
|-----------|--|--------------------------------|----------------|----------|
| | | | 7 суток | 28 суток |
| 1 | – | 0,27 | 36,90 | 52,71 |
| 2 | 10 | 0,29 | 33,81 | 47,54 |
| 3 | 20 | 0,30 | 29,25 | 43,70 |
| 4 | 30 | 0,33 | 28,14 | 40,06 |
| 5 | 40 | 0,35 | 25,53 | 36,90 |

Анализ полученных результатов позволил установить, что увеличение дозировки наполнителя приводит к росту показателя нормальной густоты вследствие увеличения удельной поверхности вяжущей композиции. Прочность цементного камня составов 2–5, содержащих наполнитель в количестве 20...40% от массы цемента, в возрасте 28 суток снизилась на 11, 18, 24, 31%.

Для дальнейших исследований нами принят состав № 3 с содержанием шлама химической водоочистки 20% взамен части цемента. Такое количество наполнителя в меньшей степени снижает прочность цементного камня, при этом позволит снизить себестоимость самоуплотняющегося бетона за счет экономии портландцемента и утилизировать шлам.



Рисунок 1. – Изменение нормальной густоты цементного теста в зависимости от расхода наполнителя



Рисунок 2. – Изменение прочности в зависимости от расхода наполнителя (7 суток)

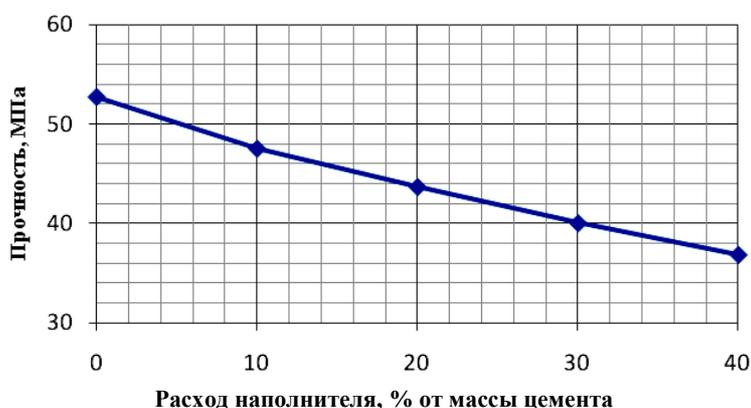


Рисунок 3. – Изменение прочности в зависимости от расхода наполнителя (28 суток)

Исследования влияния совместного ввода шлама химической водоочистки (ШХВО) и гиперпластификатора Стахемент-2000-М Ж30 на кинетику набора прочности цементного камня проводили при количестве шлама, составляющем 20%, взамен части вводимого цемента; дозировку гиперпластификатора варьировали в пределах от 0,25 до 0,35%. Прочность на сжатие цементного камня оценивали на образцах-кубиках размером 20×20×20 мм нормального твердения, изготовленных из цементного теста с одинаковым относительным водосодержанием, равным 1. Исследованы свойства 5-ти составов: 1-й – контрольный (К); 2-й – Ст 0,3 – 0,3% гиперпластификатора; 3-й – Ст 0,25 + Ш – 0,25% гиперпластификатора; 4-й – Ст 0,3 + Ш – 0,3% гиперпластификатора; 5 – Ст 0,35 + Ш – 0,35% гиперпластификатора.

Результаты исследований приведены в таблице 2 и на рисунке 4.

Таблица 2. – Влияние шлама и гиперпластификатора на кинетику набора прочности цементного камня

| Номер состава | Шифр состава | Прочность цементного камня, МПа | | |
|---------------|--------------|---------------------------------|---------|---------|
| | | 1 сутки | 3 суток | 7 суток |
| 1 | К | ≤ 7,97 | 29,7 | 37,11 |
| 2 | Ст 0,3 | ≤ 6,54 | 34,25 | 44,53 |
| 3 | Ст 0,25 + Ш | ≤ 3,79 | 22,89 | 32,82 |
| 4 | Ст 0,3 + Ш | ≤ 5,67 | 25,73 | 36,89 |
| 5 | Ст 0,35 + Ш | ≤ 5,59 | 24,58 | 34,26 |

Анализ данных таблицы 2 и рисунка 4, позволил определить оптимальную дозировку гиперпластификатора, которая составила 0,3%.

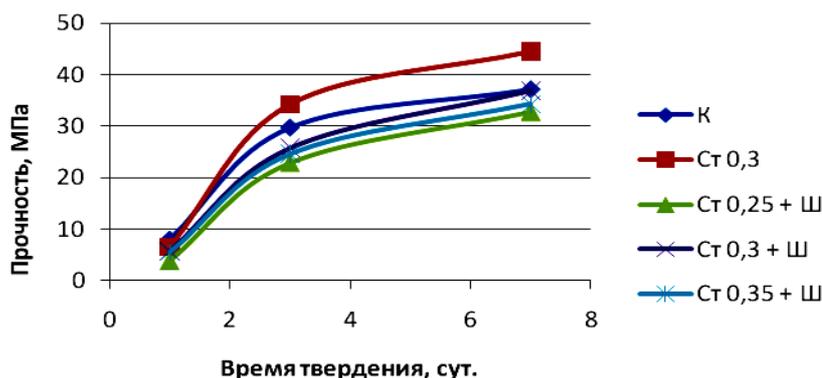


Рисунок 4. – Кинетика набора прочности цементного камня при введении шлама химической водоочистки и гиперпластификатора

Проведенные исследования свидетельствуют о возможности эффективного применения наполнителя на основе шлама химической водоочистки в цементной композиции самоуплотняющегося бетона. На основе полученных результатов принято процентное содержание шлама химической водоочистки – 20% взамен части вводимого цемента и гиперпластификатора Стахемент, составляющей 0,3%.

Расчетное проектирование состава и свойств самоуплотняющихся бетонной смеси и бетона проводили согласно ТКП 45-5.03-266 [14]. Так как рекомендуемая методика содержит расчет состава самоуплотняющегося бетона для доломитового наполнителя, нами предварительно найдены значения функции $f_{дн}$, определяющей изменение прочности бетона с дисперсным наполнителем (шлам химической водоочистки) по отношению к прочности контрольного состава без наполнителя. С этой целью были изготовлены по шесть образцов-кубов с ребром 10 см из бетона трех составов с соотношением мелкий/крупный заполнитель 50/50, содержание шлама химической водоочистки в количестве: 0; 15; 40%; дозировка гиперпластификатора Стахемент-2000-М Ж30 – 0,3% от массы вяжущей композиции при фиксированном водовязующем отношении, равном 0,45; содержание цемента в контрольном составе 400 кг.

По результатам испытаний образцов на сжатие в возрасте 28 суток определены значения $f_{дн}$: 0,82; 0,8; 0,78. Расчет составов самоуплотняющегося бетона проводился в два этапа. На первом этапе рассчитаны три приблизительных состава бетона с процентным содержанием шлама в вяжущей композиции: 20; 23; 25%; гиперпластификатора Стахемент-2000-М Ж30 – 0,3% от массы вяжущей композиции. На втором этапе по приблизительным значениям содержания компонентов самоуплотняющегося бетона определены его структурные характеристики. Расчетные составы и свойства бетонной смеси и исследуемого бетона представлены в таблице 3.

Таблица 3. – Расчетные составы и свойства самоуплотняющихся бетона и смеси

| № состава | Расход компонентов, кг/м ³ | | | | | |
|--------------------|--|-------------------------------|----------------------|--|-----------------|--------|
| | цемент | дисперсный наполнитель (ШХВО) | Стахемент-2000-М Ж30 | вода | кварцевый песок | щебень |
| 1 – Ст 0,3 + 20% Ш | 376 | 94 | 1,41 | 207 | 843 | 826 |
| 2 – Ст 0,3 + 23% Ш | 379 | 109 | 1,42 | 206 | 840 | 823 |
| 3 – Ст 0,3 + 25% Ш | 381 | 119 | 1,43 | 204 | 836 | 819 |
| № состава | Расчетное значение диаметра растекания конуса, РКр, см | | | Расчетная прочность на сжатие в возрасте 28 суток, $f_{cube 28}$, МПа | | |
| 1 | 44 | | | 34,8 | | |
| 2 | 46 | | | 32,1 | | |
| 3 | 47 | | | 30,8 | | |

Анализ полученных расчетных значений компонентов и структурных характеристик самоуплотняющегося бетона выявил, что полученные значения относительной характеристики пластических свойств теста по трем составам больше требуемого значения характеристики относительного водосодержания теста в пределе связности самоуплотняющейся бетонной смеси, установленного ТКП 45-5.03-266. Это потребовало увеличения содержания вяжущей композиции и, соответственно, уменьшения значения эффективного водовязующего отношения бетона, корректирования расчетных составов самоуплотняющегося бетона. Откорректированные расчетные составы и свойства самоуплотняющихся бетонной смеси и бетона представлены в таблице 4.

Таблица 4. – Скорректированные расчетные составы и свойства самоуплотняющихся бетонной смеси и бетона

| № состава | Расход компонентов, кг/м ³ | | | | | |
|--------------------|--|-------------------------------|----------------------|---|-----------------|--------|
| | цемент | дисперсный наполнитель (ШХВО) | Стахемент-2000-М ЖЗ0 | вода | кварцевый песок | щебень |
| 1 – Ст 0,3 + 20% Ш | 400 | 100 | 1,50 | 220 | 842 | 826 |
| 2 – Ст 0,3 + 23% Ш | 389 | 115 | 1,51 | 219 | 840 | 823 |
| 3 – Ст 0,3 + 25% Ш | 382 | 125 | 1,52 | 216 | 836 | 819 |
| № состава | Расчетное значение диаметра растекания конуса, РКр, см | | | Расчетная прочность на сжатие в возрасте 28 суток, $f_{ccube 28}$, МПа | | |
| 1 | 64 | | | 42 | | |
| 2 | 67 | | | 40 | | |
| 3 | 69 | | | 39 | | |

Для экспериментальной проверки расчетных составов и свойств самоуплотняющихся бетонной смеси и бетона были приготовлены замесы бетонных смесей составов 1–3 (см. табл. 4). Измерение величины подвижности бетонной смеси (РК, см) показало, что в соответствии с ТКП 45-5.03-266 марка первого состава самоуплотняющейся бетонной смеси по удобоукладываемости Р-2, второго и третьего Р-3, видимых расслоений бетонной смеси на финальной стадии растекания конуса не наблюдалось.

Прочность бетона на сжатие в возрасте 7 и 28 суток определялась на образцах-кубах 10×10×10 см нормального твердения (НВУ) и после термовлажностной обработки (ТВО) при нормальном давлении по режиму: 2 ч – предварительное выдерживание при температуре 15...20 °С; 3 ч – подъем до температуры 70 °С; 8 ч – изотермический прогрев при температуре 70 °С; 2 ч – снижение температуры до температуры окружающей среды.

Полученные значения прочности бетона на сжатие в возрасте 28 суток показывают, что у трех составов самоуплотняющегося бетона класс бетона $C^{30}/_{37}$, достаточный для проектирования большинства несущих конструктивных железобетонных элементов (стены, колонны и др.).

Экспериментальные значения физико-механических свойств самоуплотняющихся бетонной смеси и бетона представлены в таблице 5.

Таблица 5. – Экспериментальные значения физико-механических свойств самоуплотняющихся бетонной смеси и бетона

| № состава | Показатель растекания конуса РК, см | Прочность на сжатие, МПа (7 суток) | | Прочность на сжатие, МПа (28 суток) |
|-----------|-------------------------------------|------------------------------------|------|-------------------------------------|
| | | после ТВО | НВУ | НВУ |
| 1 | 64 | 25,7 | 30 | 44 |
| 2 | 67 | 23,6 | 28 | 41 |
| 3 | 69 | 23,4 | 25,8 | 37 |

Таблица 6. – Сопоставимость полученных свойств самоуплотняющихся бетонной смеси и бетона с данными других исследований

| Расход компонентов, кг/м ³ | По данным Magarotto [17] | По данным И. Пайерс [16] | По данным Котова [15] | Полученные авторами |
|--|--------------------------|--------------------------|-----------------------|---------------------|
| Цемент | 395 | 390 | 420 | 382 |
| Молотый известняк | 118 | – | – | – |
| Наполнитель Belocard | – | 110 | – | – |
| Тонкодисперсный доломит | – | – | 140 | – |
| ШХВО | – | – | – | 125 |
| Вода | 197 | 200 | 242 | 216 |
| Песок | 914 | 910 | 750 | 836 |
| Щебень | 748 | 762 | 740 | 819 |
| Суперпластификатор | 7,1 | 7,3 | – | – |
| Гиперпластификатор | – | – | 1,68 | 1,52 |
| Водоцементное отношение | 0,5 | 0,5 | 0,58 | 0,57 |
| Растекание конуса, см | 66 | 73 | 59 | 69 |
| Прочность на сжатие в возрасте 28 суток, МПа | 32 | 31 | 39,9 | 37 |

Полученные значения удобоукладываемости бетонной смеси и прочности бетона сопоставимы с результатами других исследований: с применением в качестве наполнителя тонкодисперсного доломита [15], молотого известняка [16], мелкоизмельченного карбоната кальция – Belocard [17], о чем свидетельствуют данные, представленные в таблице 6 и на рисунке 5.

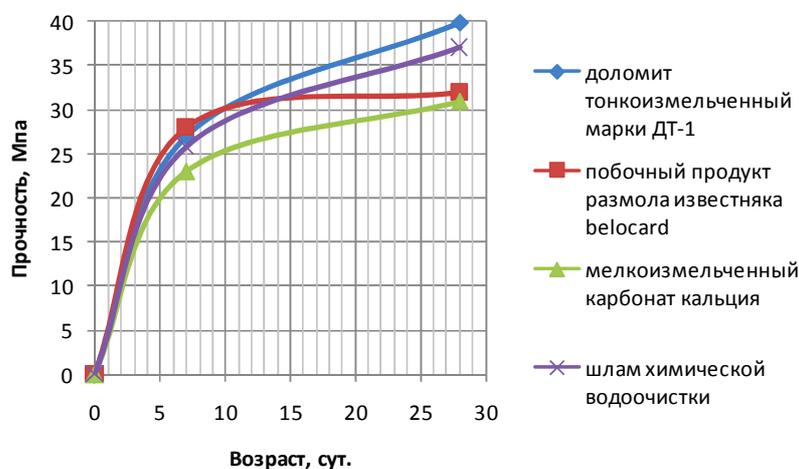


Рисунок 5. – Прочность самоуплотняющегося бетона с использованием различных активных карбонатосодержащих наполнителей

Заключение. Результаты проведенного исследования по применению карбонатосодержащего шлама химической водоочистки в композиционном вяжущем для самоуплотняющегося бетона позволили сделать следующие *выводы*:

- шлам химической водоочистки, являющийся вторичным продуктом ТЭЦ, может эффективно применяться в качестве активного наполнителя в самоуплотняющемся бетоне в дозировках 20...25%, что показано экспериментально;

- благодаря расчетно-экспериментальному проектированию состава самоуплотняющегося бетона определены составы, которые могут быть рекомендованы для применения при возведении большинства элементов строительных конструкций от слабо- до густоармированных, с классом бетона по прочности на сжатие $C^{30/37}$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бакатович, А.А. Кладочные растворы с пластифицирующей добавкой на основе шлама водоочистки : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.05 / А.А. Бакатович. – Новополоцк, 2002. – 157 л.
2. Шлам химической водоочистки – эффективный наполнитель в самоуплотняющихся песчаных бетонах / В.И. Авксентьев [и др.] // Изв. Казанск. гос. архитектурно-строительного ун-та. – 2015. – № 1. – С. 119–126.
3. Okamura, H. Self-compacting concrete / H. Okamura, M. Ouchi // Proceedings of the first international RILEM symposium. – Stockholm, 1999.
4. Европейский нормативный документ по самоуплотняющемуся бетону : DAF Stb-Richtlinie Selbsverdichtender Beton (SVB-Richtlinie). – 2005. – Ausgabe November.
5. Основные требования при производстве работ с самоуплотняющимися бетонными смесями : СТО СРО-С 60542960 00050-2015. – Введ. 12.02.2015. – М., 2015. – 89 с.
6. Самоуплотняющийся бетон – эффективный инструмент в решении задач строительства [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.allbeton.ru/article/36.html>. – Дата доступа: 10.10.2015.
7. Войлоков, И.А. Самоуплотняющиеся бетоны. Новый этап развития бетоноведения / И.А. Войлоков // Экспозиция. Бетоны & сухие смеси. – 2008. – № 65. – С. 5.
8. Shpilevskaya, N. The composite binder for self-compacting concrete / N. Shpilevskaya, V. Lazarenka // European and national dimension in research : Materials of VIII junior researchers conference, Novopolotsk, April 27–28, 2016 : in 3 Parts. – Novopolotsk : PSU. – 2016. – Part 3. Technology. – P. 7–10.
9. Вишнякова, Ю.В. Строительные растворы с карбонатосодержащим наполнителем из вторичного продукта водоподготовки : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.05 / Ю.В. Вишнякова. – Новополоцк : ПГУ, 2014. – 166 л.

10. Влияние шлама химической водоочистки в комплексе с суперпластификатором на физико-механические свойства цементного камня / В.И. Авксентьев [и др.] // Изв. Казанск. гос. архитектурно-строительного ун-та. – 2014. – № 4. – С. 249–254.
11. Бетонная смесь : пат. № 2258052 [Электронный ресурс] / В.Б. Чупшев. – 2015. – Режим доступа: <http://bd.patent.su/2258000-2258999/pat/servlet/servletd2f6.html>. – Дата доступа: 12.10.2015.
12. Наполнитель карбонатосодержащий. Технические условия. ТУ ВУ 300220696.050-2010. – Введ. 04.03.2014. – Минск : Минстройархитектуры Респ. Беларусь : РУП «Стройтехнорм», 2014. – 12 с.
13. Добавки пластифицирующие для бетонов и растворов Стахема-М. Технические условия. ТУ ВУ 800013176/004-2011. – Введ. 05.10.2011. – Минск : Минстройархитектуры Респ. Беларусь : РУП «Стройтехнорм», 2011. – 7 с.
14. Бетонные и железобетонные изделия и конструкции из самоуплотняющегося бетона. Правила изготовления : ТКП 45-5.03-266-2012. – Введ. 01.03.2013. – Минск : Минстройархитектуры Респ. Беларусь : РУП «Стройтехнорм», 2013. – 28 с.
15. Котов, Д.С. Физико-механические свойства тяжелого самоуплотняющегося бетона : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.05 / Д.С. Котов. – Минск, 2013. – 18 с.
16. Самоуплотняющийся бетон с мелкоизмельченным карбонатом кальция / И. Пайерс и [др.] // Международное бетонное производство. – 2012. – № 1. – С. 34–38.
17. Magarotto, R. Innovative Admixtures : A Key component for a Sustainable Concrete Industry / R. Magarotto, J. Roncero // Concrete Plant International. – 2008. – № 4. – P. 72–76.

Поступила 02.12.2016

**APPLICATION OF CARBONATE CONSISTING FILLER
OF SLUDGE OF CHEMICAL WATER TREATMENT
IN COMPOSITE BINDER FOR SELF-COMPACTING CONCRETE**

V. LAZARENKA, N. SHPILEVSKAYA

The application of self-compacting concrete is considered as one of the priority directions in modern construction. The ways of reducing its cost are analyzed. Attention is focused on the use of secondary products of industry as an active filler. The effect of chemical water treatment sludge of heat station on the physical and mechanical properties of self-compacting concrete has been studied, and the possibility of using water treatment sludge as a dispersed filler has been shown. The optimum content of the filler was determined, the composition of self-compacting concrete was calculated and experimentally determined.

Keywords: *self-compacting concrete, self-compacting concrete, composition, superplasticizer, fine filler, sludge of chemical water treatment.*