

Влияние некоторых минеральных добавок на свойства мелкозернистых бетонов и строительных растворов

Г.В. Несветаев, И.А. Животкова

Донской государственной технической университет, Ростов-на-Дону

Аннотация: Представлены результаты исследования влияния комплексной минеральной добавки шлам химводоочистки + горелая порода, либо зола уноса, либо опока. Установлено рациональное содержание шлама химводоочистки в составе комплексной добавки 50%. Получены зависимости предела прочности при сжатии и растяжении при изгибе от величины В/Ц, предела прочности на растяжение при изгибе и начального модуля упругости от предела прочности при сжатии. Введение комплексной минеральной добавки в состав МЗБ не приводит к снижению предела прочности на растяжение при изгибе и не повышает начальный модуль упругости МЗБ. Среднестатистические значения начального модуля упругости МЗБ с комплексной минеральной добавкой практически совпадают с нормируемыми ГОСТ Р 56378 - 2015 значениями. Применение шлама химводоочистки для мелкозернистых бетонов обеспечило при введении 20% комплексной добавки рационального состава взамен части цемента превышение предела прочности при сжатии при равном значении В/Ц относительно бездобавочного эталона на 7 – 20%, а предела прочности на растяжение при изгибе на 12 - 22%.

Ключевые слова: минеральная добавка, предел прочности, модуль упругости, опока, зола уноса, горелая порода, шлам химводоочистки.

Сухие строительные смеси (ССС) на цементной основе составляют порядка 2/3 объема производимых СССР и широко применяются при производстве общестроительных, специальных и ремонтно-восстановительных работ [1-3], поскольку позволяют, наряду с повышением качества отделочных работ, значительно сократить трудозатраты и материалоемкость и упростить организацию снабжения и складские операции [4,5]. Потребление СССР в ряде стран превышает 30 кг/чел. в год [4].

Для ремонта и восстановления железобетонных конструкций все шире применяются так называемые «ремонтные» СССР по ГОСТ 31189-2015 [6]. Они разделяются на поверхностно-восстановительные, объемно-восстановительные, конструкционные, инъекционные, и, в зависимости от назначения для указанных СССР требований по показателям прочности на сжатие, модуля упругости, сцепления с основанием, усадки, установлены в ГОСТ Р 56378-2015. Требования по показателю предела прочности на осевое растяжение или

растяжение при изгибе не установлены, хотя важность этого показателя для многих бетонов и строительных растворов очевидна [7].

Как известно, при производстве некоторых строительных материалов, до 50% себестоимости приходится на минеральное сырье. Замена части природного минерального сырья техногенными отходами обеспечивает и экономический и, что особенно важно, экологический эффект [8-10]. Одной из ведущих тенденций в производстве бетонов, в т.ч., мелкозернистых (МЗБ) и строительных растворов различного назначения, является применение активных и инертных минеральных добавок (МД), как правило, в виде наполнителей в составе ССС [11], поскольку их применение способствует получению более плотной структуры бетона [12] и, как показано в [13], указанные добавки являются обязательным компонентом ССС. Реализуются различные технологии получения комплексных органоминеральных модификаторов для бетонов и ССС на основе МД [14], в т.ч. с применением механоактивации МД [15]. Некоторые МД могут существенно повышать предел прочности на растяжение при изгибе, что важно, в т.ч. для повышения усадочной трещиностойкости бетонов и строительных растворов [16,17]. ГОСТ Р 56592—2015 допускает применение МД, качество которых не соответствует требованиям стандарта, при обосновании предварительными исследованиями.

В работе исследована возможность применения в качестве комплексной МД шлама (Ш) химводоочистки ТЭЦ-2 города Ростова-на-Дону в сочетании с техногенными отходами – золы уноса (З) ПАО ОГК-2 Новочеркасская ГРЭС, горелой породы (ГП) и природного минерального сырья – опоки (О), эффективность применения которой в при производстве МЗБ отмечена, например, в [18].

Экспериментальные исследования выполнены с использованием:

- портландцемента ЦЕМ I 42,5 Н по ГОСТ 31108-2016 производства ОАО «Новоросцемент», завод «Первомайский»; активностью 51,9 МПа, НС/КС 150/220 мин, НГ 27,75% (далее Ц);

- кварцевого песка (П) с модулем крупности 1,23, удовлетворяющего требованиям к заполнителям для ССС;

- минеральных добавок Ш, З, ГП, О, сведения о химическом составе которых представлены в табл. 1.

Таблица № 1

Сведения о химическом составе минеральных добавок

МД	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	P ₂ O ₅	п.п.п
З ¹	53,82	22,12	9,77	3,71	4,59	1,26	0,35	0,23	22,8
Ш ²	5,76	1,04	2,78	43,18	0,28		0,52	-	40,18
О ³	59,83	7,11	2,78	13,03	1,18	0,85	0,21	0,12	12,7
ГП ⁴	56,43	19,38	6,18	1,73	3,77	1,18	1,73	0,14	4,07

Примечания: 1 - зола уноса ПАО ОГК-2 Новочеркасская ГРЭС, 1-8 энергоблоки; 2 - шлам химводоочистки ТЭЦ-2, г. Ростов-на-Дону; 3 – Нагольновская опока; 4 – горелая порода

При реализации экспериментальных исследований варьировались следующие факторы:

- общая доза минеральной добавки от 10 до 30% от массы вяжущего в первом блоке исследований и от массы Ц во втором блоке исследований;

- соотношение Ш/МД от 20%/80% до 80%/20%, где МД – З, О, ГП по табл. 1.

Состав МЗБ по массе в первом блоке исследований (постоянный расход вяжущего) принят: Вяж:П = 1:1,5, т.е. 40% Ц+МД и 60% П при В/Вяж = 0,4, во втором блоке исследований (постоянный расход Ц) принят: Ц:(П+МД) = 1:1,5, т.е. 40% Ц и 60% П+МД при В/Ц = 0,4.

Средняя плотность МЗБ первого блока в проектном возрасте составила от 2128 до 2231 кг/м³, второго блока – от 2178 до 2280 кг/м³ при средней плотности бездобавочного эталона 2271 кг/м³.

В проектном возрасте 28 сут после твердения в нормальных условиях определяли:

- предел прочности при сжатии и растяжении при изгибе по ГОСТ Р 58277-2018;

- начальный модуль упругости E определялся по ф. (1) через динамический модуль упругости E_d [19]:

$$E = kE_d = kk_1\rho V^2 \quad (1)$$

где, ρ – средняя плотность раствора (мелкозернистого бетона); V – скорость ультразвука, $kk_1 = 0,62$.

На рис. 1 представлена зависимость предела прочности при сжатии МЗБ от дозы, состава комплексной добавки и вида МД по табл.1 при содержании ГП, О, З в МД 80, 50 и 20%, соответственно.

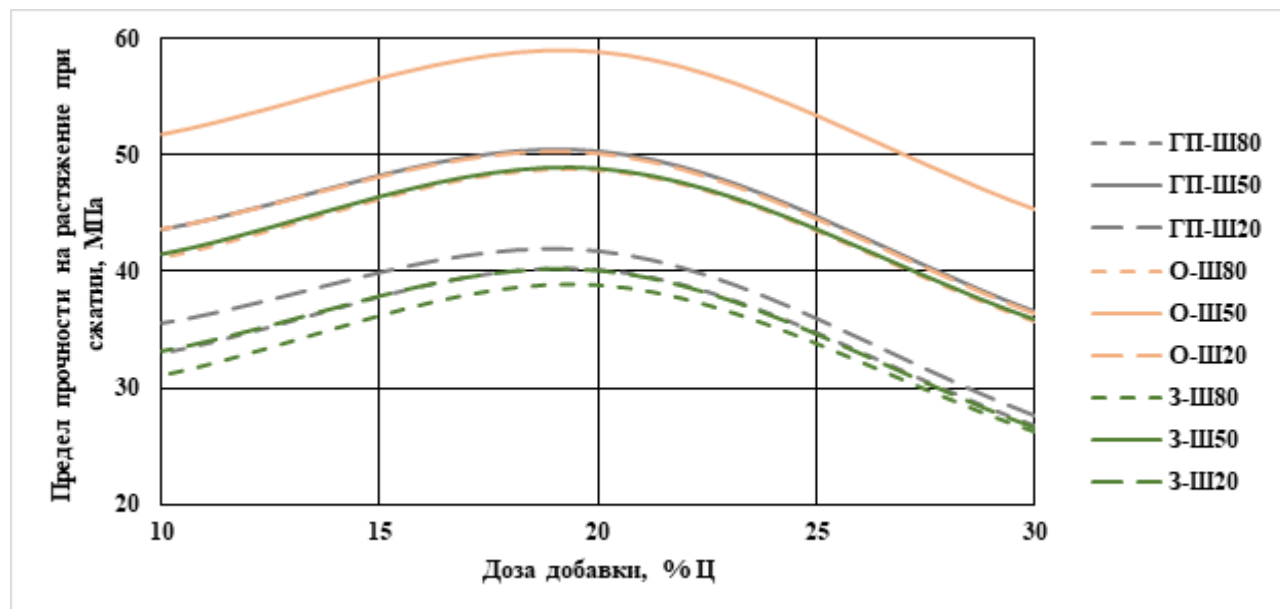


Рис. 1 – Зависимость предела прочности при сжатии от дозы, состава и вида МД

Из представленных на рис. 1 результатов очевидно:

- экстремум зависимости предела прочности при сжатии от дозы комплексной добавки, примерно приходится на 20% добавки от массы вяжущего;

- экстремум зависимости предела прочности при сжатии от соотношения Ш/МД примерно приходится на Ш/МД = 50%/50%;

- лучшие результаты обеспечиваются при использовании в качестве МД опоки, зола и горелая порода дают примерно равные показатели.

На рис. 2 представлена зависимость предела прочности на растяжение при изгибе МЗБ от дозы, состава комплексной добавки и вида МД по табл.1 при содержании ГП, О, З в МД 80, 50 и 20%, соответственно.

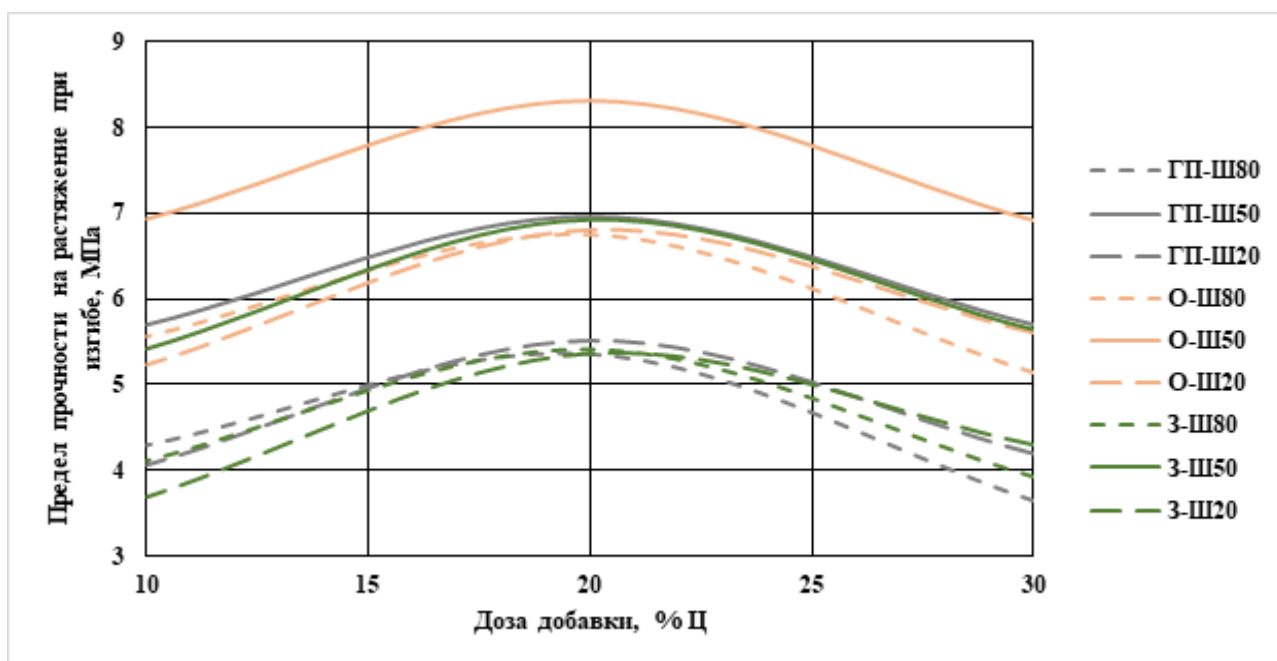


Рис. 2. – Зависимость предела прочности на растяжение при изгибе от дозы, состава и вида МД

Из представленных на рис. 2 результатов очевидно:

- экстремум зависимости предела прочности на растяжение при изгибе от дозы комплексной добавки также как и при сжатии примерно приходится на 20% добавки от массы вяжущего;

- экстремум зависимости предела прочности на растяжение при изгибе от соотношения Ш/МД примерно у О, ГП, З приходится на Ш/МД = 50%/50%;

- при использовании в качестве МД опоки при любом соотношении Ш/МД в исследованном диапазоне обеспечиваются практически равные результаты с содержащими золу либо горелую породу составами при рациональном соотношении Ш/МД = 50%/50%.

На рис. 3 представлена зависимость предела прочности при сжатии от величины В/Ц и содержания комплексной добавки 10, 20 и 30%, соответственно, для первого и второго (-2) блока исследований в сравнении с бездобавочным эталоном (э) и некоторыми известными зависимостями:

- Т по ф. (2) [19] при $a = 0,332$: $R_{Ц} = 51,9$ МПа:

$$R = aR_{Ц} \left(\frac{B}{Ц}\right)^{-1,39}; \quad (2)$$

- T2 – по ф.(3) Баженова Ю.М. [19] при $b = 0,7$, $R_{Ц} = 51,9$ МПа:

$$R = bR_{Ц} \left(\frac{Ц}{B} - 0,8\right). \quad (3)$$

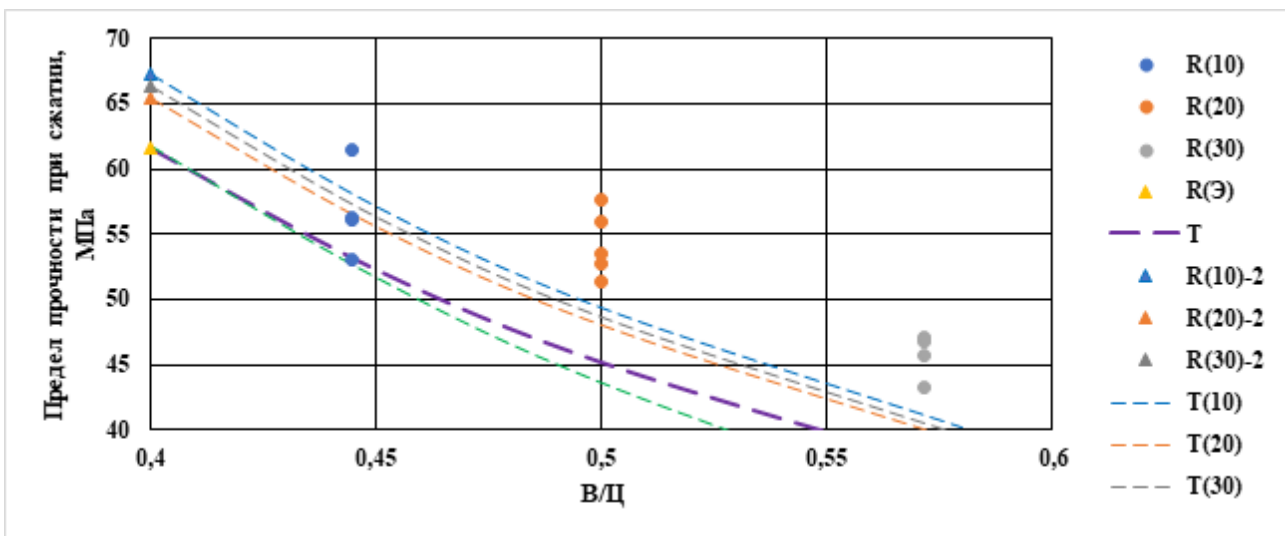


Рис. 3. – Зависимость предела прочности при сжатии от величины В/Ц

Представленные на рис. 3 расчетные зависимости $T(10)$, $T(20)$ $T(30)$ получены по ф.(2) при $a = 0,363; 0,353; 0,358$ соответственно. Из представленных на рис. 3 результатов очевидно, что с ростом В/Ц предел прочности при сжатии закономерно снижается, при этом:

- предел прочности в блоке 2, где МД введена взамен части П, увеличился относительно бездобавочного эталона на 6 – 9%;
- предел прочности в блоке 1, где МД введена взамен части Ц, закономерно снижается, но превышает расчетные значения относительно бездобавочного эталона на 7 – 20% при содержании добавки 20% и на 7 – 17% при содержании добавки 30%, что связано, вероятно, с проявлением некоторых вяжущих свойств у комплексной добавки Ш + МД.

На рис. 4 представлена зависимость предела прочности на растяжение при изгибе от величины В/Ц и содержания комплексной добавки 10, 20 и 30% соответственно для первого и второго (-2) блока исследований в сравнении с бездобавочным эталоном (э) и некоторыми известными зависимостями:

- T1 по ф. (4) СоюзДорНИИ [19] при $a = 0,55$, $R_{ЦИ} = 6,12$ МПа, $ВВ = 2\%$:

$$R = aR_{ЦИ} (1 - 0,025ВВ) \left(\frac{Ц}{В} - 0,1 \right); \quad (4)$$

- T2 – по ф.(5) Баженова Ю.М. [19] при $b = 0,54$, $R_{ЦИ} = 6,12$ МПа, $ВВ = 2\%$:

$$R = bR_{ЦИ} \left(\frac{Ц}{В+ВВ} - 0,2 \right). \quad (5)$$

Представленные на рис. 4 расчетные зависимости $T(10)$, $T(20)$ $T(30)$ получены по ф.(4) при $a = 0,603; 0,645; 0,666$ соответственно.

Из представленных на рис. 4 результатов очевидно, что с ростом В/Ц предел прочности МЗБ с комплексной добавкой на растяжение при изгибе практически не изменяется, при этом, часть значений превышает значения

эталона, а часть менее эталона. При дозировке комплексной добавки до 30 % превышение предела прочности на растяжение при изгибе относительно расчетных значений с учетом изменения В/Ц значений составляет от 12 до 22%.

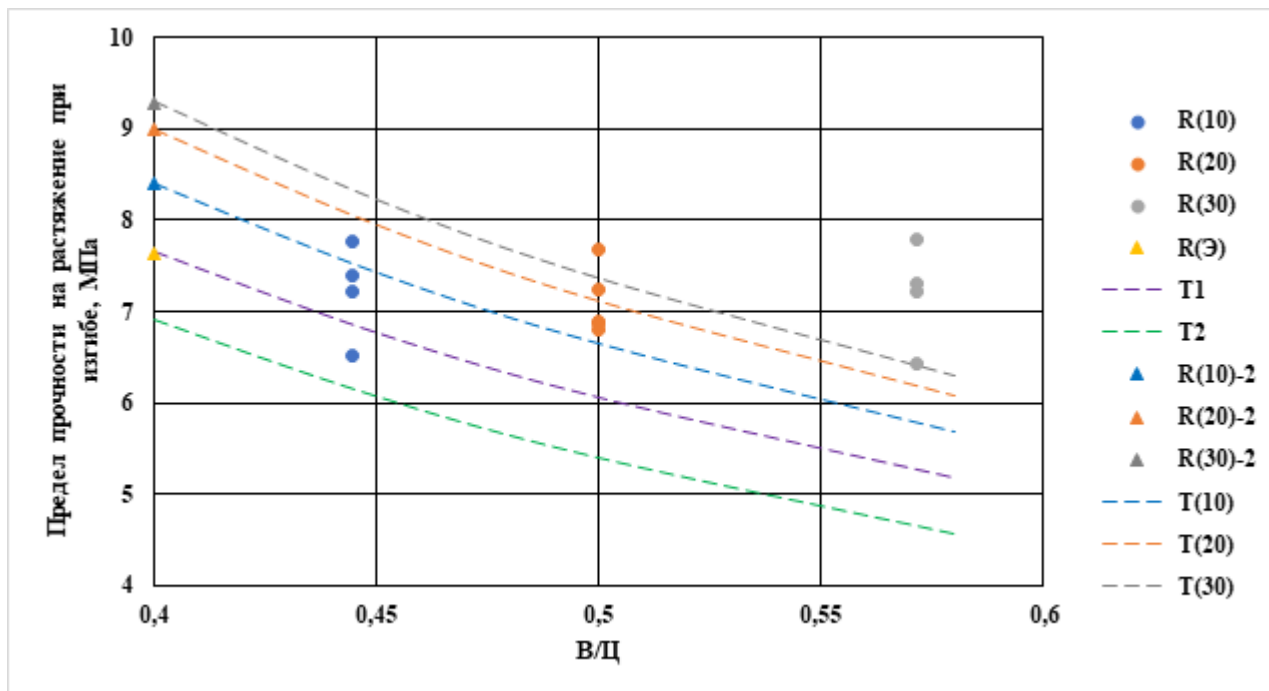


Рис. 4. – Зависимость предела прочности на растяжение при изгибе от величины В/Ц

На рис. 5 представлена зависимость предела прочности МЗБ на растяжение при изгибе от предела прочности при сжатии от вида МД (ГП, О, Э по табл.1) в проектном возрасте 28 сут в сравнении с бездобавочным эталоном (Э28) и некоторыми данными:

- T28 – по ф.(6) при значениях параметров k , x , представленных в табл. 2:

$$R_f = kR^x; \quad (6)$$

- br, br Э – соответственно декларированные и экспериментальные данные некоторых производителей;

- ГОСТ, 310.4, 30744 – соответственно, по ГОСТ 31358-2019, ГОСТ 10178-85 (отменен) и ГОСТ 31108-2020.

Значения параметров k , x в ф. (1)

МД	Значения параметров в ф.(1)		
	k	x	R^{2*}
ГП	0,184	0,914	0,839
О	0,226	0,873	0,828
З	0,238	0,849	0,779
Все МД	0,182	0,923	0,864

Примечание: * - показатель достоверности аппроксимации

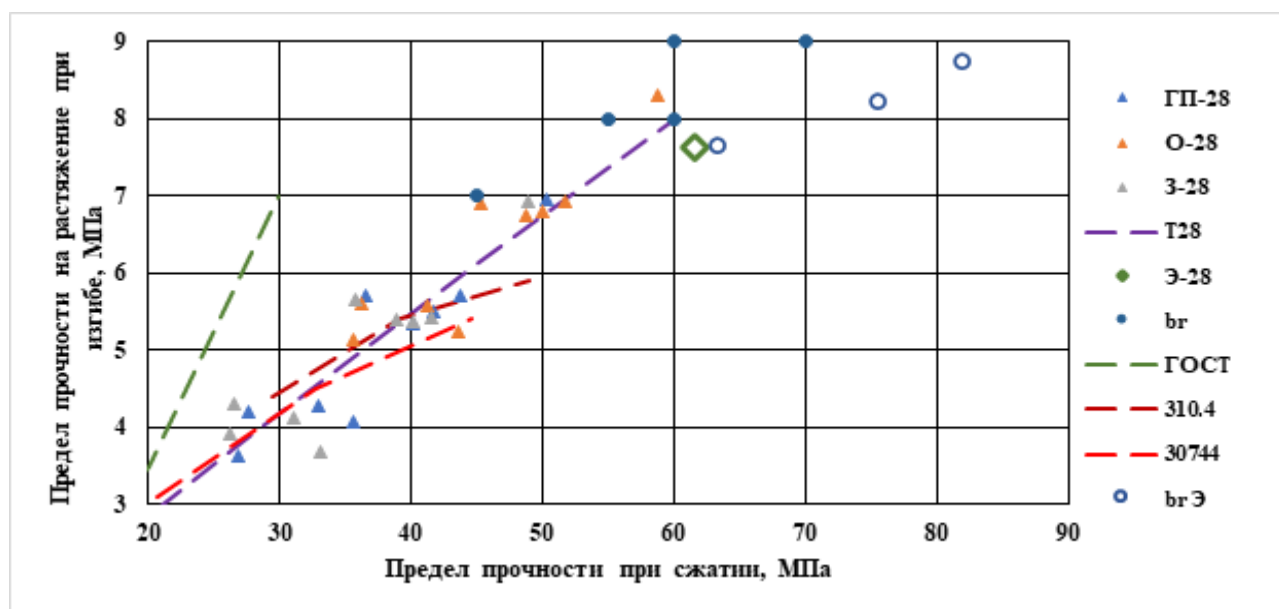


Рис. 5. – Зависимость предела прочности на растяжение при изгибе от предела прочности при сжатии

Из представленных на рис. 5 результатов следует:

- нормирование предела прочности на растяжение при изгибе по ГОСТ 31358-2019 требует обоснования;

- результаты блоков 1 и 2 хорошо согласуются с нормированием предела прочности на растяжение при изгибе по ГОСТ 10178-85 (отменен) и ГОСТ 31108-2020;

- декларированные и экспериментальные данные некоторых производителей неплохо коррелируют с результатами блоков 1 и 2;

- введение МД в состав МЗБ не приводит к снижению предела прочности на растяжение при изгибе;

На рис. 6 представлена зависимость начального модуля упругости МЗБ от предела прочности при сжатии в проектном возрасте 28 сут для первого (1) и второго (2) блока исследований в сравнении с данными СП 63.13330.2018 (СП) и ГОСТ 31358-2019 (ГОСТ), а также декларированными и экспериментальными данными некоторых производителей (br, br Э).

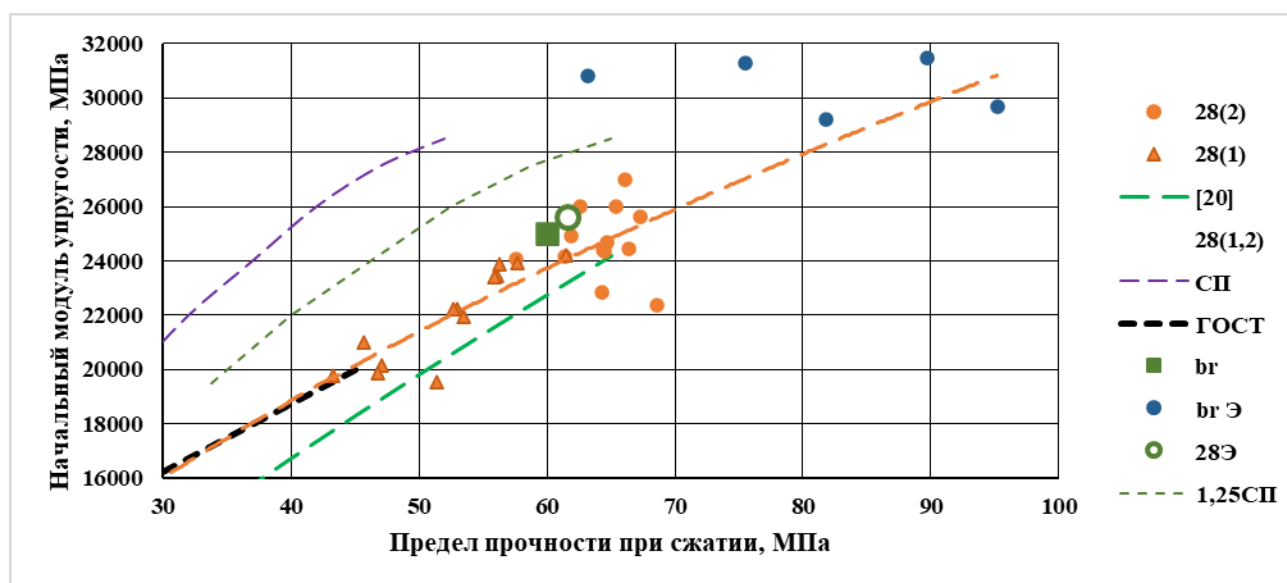


Рис. 6. – Зависимость начального модуля упругости МЗБ от предела прочности при сжатии

Зависимость начального модуля упругости E_0 от предела прочности при сжатии R по результатам испытаний МЗБ первого и второго блока описывается формулой:

$$E_0 = 2316R^{0,568}. \quad (7)$$

Представленные на рис. 6 результаты показывают, что:

- значения начального модуля упругости МЗБ по ф. (7) практически совпадают с нормируемыми ГОСТ Р 56378 - 2015 значениями;

- нормируемые для МЗБ в СП 63.13330.2018 значения значительно превышают экспериментальные данные (линия СП на рис. 6), в том числе и при переходе от кубиковой прочности (СП) к прочности при сжатии, полученной на образцах 40x40x160 мм (линия 1,25 СП на рис.6, по нашим данным $R_B = 1,25R_K$);

- экспериментальные значения, полученные в блоке 1 и 2, неплохо коррелируют с декларируемыми и экспериментальными данными некоторых производителей;

- введение комплексной добавки в состав МЗБ как взамен части Ц, так и взамен части П не повышает начальный модуль упругости МЗБ, что, с учетом положительного влияния добавки рационального состава на предел прочности на растяжение при изгибе, должно благоприятно повлиять, в частности, на усадочную трещиностойкость.

Заключение

Введение комплексной минеральной добавки в состав МЗБ не приводит к снижению предела прочности на растяжение при изгибе и не повышает начальный модуль упругости МЗБ. Среднестатистические значения начального модуля упругости МЗБ с комплексной минеральной добавкой практически совпадают с нормируемыми ГОСТ Р 56378 - 2015 значениями. Применение шлама химводоочистки ТЭЦ в составе комплексной минеральной добавки при рациональной дозировке Ш/МД = 50/50 для мелкозернистых бетонов обеспечило при введении 20% комплексной добавки взамен части цемента превышение предела прочности при сжатии при равном значении В/Ц относительно бездобавочного эталона на 7 – 20%, а предела прочности на растяжение при изгибе на 12 до 22%.

Литература

1. Кузьмина В.П. Защита и ремонт железобетонных сооружений // Сухие строительные смеси. 2017. №2. С.23-25.
 2. Коровкин М.О., Короткова А.А., Ерошкина Н.А. Ремонтные сухие строительные смеси для восстановления геометрических характеристик железобетонных конструкций // Образование и наука в современном мире. Инновации. 2020. № 5 (30). С. 122-128.
 3. Логанина В. И. Сухие строительные смеси для реставрации зданий исторической застройки // Региональная архитектура и строительство. 2015. № 3 (24). С. 34-42.
 4. Панченко А. И. Сухие смеси в России: особенности производства и применения // Строительные материалы. 2002. № 5. С. 19-22.
 5. Загороднюк Л. Х., Гридчин А. М., Лесовик В. С. Тенденции развития производства сухих строительных смесей в России // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2016. № 12. С. 6-14. DOI: 10.12737/22638.
 6. Оноприенко Н. Н., Сальникова О. Н. К вопросу разработки отечественных реставрационных материалов для памятников архитектуры // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2023. № 3. С. 19-33. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-8-3-19-33.
 7. Булгаков А.Г., Ерофеева И.В., Ишутин А.А., Афонин В.В., Моисеев В.В. Прочность на растяжение при изгибе бетонов нового поколения // Эксперт: теория и практика. 2022. № 2 (17). С. 21-27. DOI: 10.51608/26867818_2022_2_21.
 8. Каклюгин А. В., Боброва В. В., Валов М. П., Щербакова В. С. Использование шлама химводоочистки теплоэлектростанций в производстве строительных материалов и изделий // Молодой исследователь Дона. 2020. № 4(25). С. 28-33.
-

9. Несветаев Г. В., Козлов А. В., Козлов Г. А., Филонов И. А. Влияние некоторых минеральных добавок на свойства мелкозернистых бетонов // Инженерный вестник Дона. 2022. №11 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2022/7972.

10. Prokopski G., Huts A., Marchuk V. Granite dust as a mineral component of a dry cement mortar mixtures // Archives of Civil Engineering. 2020. Vol. 66. No 3. P. 81-96. DOI: 10.24425/ace.2020.134385.

11. Кузьмина В. П. Наполнители для сухих строительных смесей // Сухие строительные смеси. 2017. № 3. С. 8-15.

12. Белов, В. В., Образцов И. В. Расчет плотных упаковок частиц в смесях тонкодисперсных компонентов // Сухие строительные смеси. 2014. № 3. С. 32-35.

13. Саламанова М. Ш., Исмаилова З. Х., Окуева П. Х., Эскиев М. С. Анализ методов составления рецептур модифицированных сухих строительных смесей // Грозненский естественнонаучный бюллетень. 2017. № 4(8). С. 67-72.

14. Перцев В. Т., Халилбеков Я. З., Леденев А. А., Перова Н. С. Состав и технология комплексных добавок для бетона на основе промышленных отходов // Цемент и его применение. 2019. № 3. С. 98-101.

15. Кузьмина, В. П. Составы и способы получения сухих строительных смесей // Сухие строительные смеси. 2018. № 5. С. 25-30.

16. Nguyen Duc Vinh Quang, Bazhenov Yuriy M., Aleksandrova Olga V. Effect of quartz powder and mineral admixtures on the properties of high-performance concrete// Вестник МГСУ. 2019. №1 (124) DOI: 10.22227/1997-0935.2019.1.102-117.

17. Несветаев, Г. В., Кузьменко Т. Г. О соотношении пределов прочности цементных бетонов на растяжение при изгибе и сжатие// Инженерный вестник Дона. 2023. №8 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2023/8605.

18. Шляхова Е. А., Шляхов М.А. Влияние вида минеральной добавки микронаполнителя на свойства мелкозернистого бетона// Инженерный вестник Дона. 2015. № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3394.

19. Несветаев Г.В. Бетоны: учеб. пособие. - изд. 2-е, доп. и перераб. Ростов/Д: Феникс, 2013. 381 с.

20. Несветаев Г. В., Осипов В. В. О влиянии редиспергируемых полимерных порошков на модуль упругости и прочность сцепления строительных растворов// Инженерный вестник Дона. 2022. № 7. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2022/7817.

References

1. Kuz'mina V.P. Suhie stroitel'nye smesi. 2017. №2. pp.23-25.

2. Korovkin M.O., Korotkova A.A., Eroshkina N.A. Obrazovanie i nauka v sovremennom mire. Innovacii. 2020. № 5 (30). pp. 122-128.

3. Loganina V. I. Regional'naja arhitektura i stroitel'stvo. 2015. № 3 (24). pp. 34-42.

4. Panchenko A. I. Nesvetaev G. V. Stroitel'nye materialy. 2002. № 5. pp. 19-22.

5. Zagorodnjuk. L. H., Gridchin A. M., Lesovik V. S. [i dr.] Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta im. V.G. Shuhova. 2016. № 12. pp. 6-14. DOI: 10.12737/22638.

6. Onoprienko N. N. Sal'nikova O. N. Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta im. V.G. Shuhova. 2023. № 3. pp. 19-33. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-8-3-19-33.

7. Bulgakov A.G., Erofeeva I.V., Ishutin A.A., Afonin V.V., Moiseev V.V. Jekspert: teorija i praktika. 2022. № 2 (17). pp. 21-27. DOI: 10.51608/26867818_2022_2_21.

8. Kakljugin A. V., Bobrova V. V., Valov M. P., Shherbakova V. S. Molodoj issledovatel' Dona. 2020. № 4(25). pp. 28-33.



9. Nesvetaev G. V., Kozlov A. V., Kozlov G. A., Filonov I. A. Inzhenernyj vestnik Dona. 2022. №11. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2022/7972.
10. Prokopski G., Huts A., Marchuk V. Archives of Civil Engineering. 2020. Vol. 66. No 3. pp. 81-96. DOI: 10.24425/ace.2020.134385.
11. Kuz'mina, V. P. Suhie stroitel'nye smesi. 2017. № 3. pp. 8-15.
12. Belov, V. V., Obrazcov I. V. Suhie stroitel'nye smesi. 2014. № 3. pp. 32-35.
13. Salamanova M. Sh., Ismailova Z. H., Okueva P. H., Jeskiev M. S. Groznenskij estestvennonauchnyj bjulleten'. 2017. № 4(8). pp. 67-72.
14. Percev V. T., Halilbekov Ja. Z., Ledenev A. A., Perova N. S. Cement i ego primenenie. 2019. № 3. pp. 98-101.
15. Kuz'mina, V. P. Suhie stroitel'nye smesi. 2018. № 5. pp. 25-30.
16. Nguyen Duc Vinh Quang, Bazhenov Yuriy M., Aleksandrova Olga V. Vestnik MGSU. 2019. №1 (124) DOI: 10.22227/1997-0935.2019.1.102-117.
17. Nesvetaev, G. V., Kuz'menko T. G. Inzhenernyj vestnik Dona. 2023. №8 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2023/8605.
18. Shljahova E. A., Shljahov M.A. Inzhenernyj vestnik Dona. 2015. № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3394.
19. Nesvetaev G.V. Betony: ucheb. posobie. [Concrete: study guide. 2nd edition]. izd. 2-e, dop. i pererab. Rostov/D: Feniks, 2013. 381 p.
20. Nesvetaev G. V., Osipov V. V. Inzhenernyj vestnik Dona. 2022. № 7. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2022/7817.

Дата поступления: 20.03.2024

Дата публикации: 29.04.2024