

## Быстротвердеющие стяжки на основе гипсоглиноземистого расширяющегося цемента и портландцемента

*О.А. Бычкова*

*ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный технологический университет»*

**Аннотация:** Показана возможность получения быстротвердеющих ровнителers для пола (монолитных стяжек) с пределом прочности на сжатие более 20 МПа на основе гипсоглиноземистого расширяющегося цемента, модифицированного портландцементом (МГГРЦ). Установлено, что кинетика прочности на сжатие определяется в основном соотношением ГЦ: Г: ПЦ в составе МГГРЦ, при этом суперпластификатор (СП) и эфиры метилцеллюлозы оказывают негативное влияние как на нарастание прочности в ранний период, так и величину проектной прочности, а микрокремнезем не влияет на кинетику прочности как в ранний период, так и в проектном возрасте. На соотношение пределов прочности на растяжение при изгибе и сжатие оказывают влияние внутрискруктурные напряжения, обусловленные несогласованностью процессов расширения и роста прочности во времени вследствие различного влияния добавок СП и эфиров метилцеллюлозы на кинетику формирования гидросульфаталюминатов и гидросиликатов кальция.

**Ключевые слова:** сухие строительные смеси, стяжки, предел прочности на сжатие, предел прочности на растяжение при изгибе, гипоглиноземистый расширяющийся цемент.

Целесообразность и эффективность применения сухих строительных смесей (ССС) при производстве строительных работ подтверждена многолетней практикой. В структуре ССС ровнители для пола (монолитные стяжки) на цементной основе составляют до 10% общего объема производства ССС, т.е. занимают 2 место после клеев. Согласно СП 29.13330-2011 монолитные стяжки под полимерные покрытия полов могут изготавливаться из «смесей сухих строительных напольных на цементном вяжущем с прочностью на сжатие не ниже 20 МПа» (п. 8.4), а стяжки из «смесей сухих строительных напольных на цементном вяжущем, укладываемые по упругому тепло- и звукоизоляционному слою», должны обладать прочностью на сжатие не ниже 20 МПа и прочностью на растяжение при изгибе не ниже 4,5 МПа (п. 8.5). Помимо указанных требований, согласно ГОСТ 31358 «Смеси сухие строительные напольные на

цементном вяжущем», величина расширения затвердевшего раствора не должна превышать 0,5 мм/м, а деформация усадки – 1 мм/м.

Интенсификация строительных процессов требует, в т.ч., применения быстротвердеющих материалов при устройстве стяжек. Один из возможных способов решения задачи заключается в применении быстротвердеющего вяжущего на основе гипсоглиноземистого расширяющегося цемента (ГГРЦ) с добавлением портландцемента (ПЦ - далее МГГРЦ) [1 – 3]. В связи с этим требования к МГГРЦ для полов в порядке убывания значимости можно сформулировать в виде:

- низкие усадочные деформации;
- высокая начальная и конечная прочность.

Ранее [3] была показана возможность получения МГГРЦ с высокими прочностными показателями при твердении в воздушно-сухих условиях (табл.1).

Таблица 1

Свойства МГГРЦ (цементный камень из теста нормальной густоты)

Показатель	Значения предела прочности в возрасте, сут		
	0,25	1	28
Предел прочности на сжатие, МПа	40	66	82
Предел прочности на растяжение при изгибе, МПа	5,5	9,0	10,7
Расширение (+), усадка (-), мм/м		+ 0,4	- 1.15

Согласно [4,5] между величиной усадки мелкозернистого бетона (МЗБ) и цементного камня зависимость имеет вид:

$$\varepsilon_{sh,c} = V_{CS}^{1,45} \cdot \varepsilon_{sh,CS}, \quad (1)$$

где  $V_{CS}$  – объем цементного камня в МЗБ.

В исследованных составах принято соотношение П: Ц = 2, величина  $V_{CS}$  составляет 0,41. В соответствии с ф.(1) усадка МЗБ ожидается равной

0,32 мм/м без учета влияния величины В/Ц и химических добавок на усадку [3]. Поскольку в исследованных составах величина В/Ц составляла 0,44 против 0,21 в тесте МГГРЦ, повышение усадки за счет увеличения В/Ц [5] ожидается в 1,75 раза, т.е. примерно до 0,55 мм/м. Согласно [6] повышение усадки бетонов при применении химических добавок может составлять до 1,8 раза. В нашем случае это составит примерно 1 мм/м.

Для получения самонивелирующихся стяжек в базовый состав дополнительно вводились в различных дозировках (табл. 2):

- добавка на основе метилгидроксипропилцеллюлозы MecelloseFMC 60150 с вязкостью раствора по методу Брукфильда не более 150 Па · С (далее – ВУД);
- суперпластифицирующая добавка (СП);
- микрокремнезем (МК).

Таблица 2

Деформации стяжек при твердении (балочки 40x40x160 мм), мм/м

№ состава	Расширение	Усадка	Амплитуда
1	0,61	0,68	1,29
2	0,38	0,52	0,9
3	0,29	0,5	0,79
4	0,11	0,83	0,94
5	0	0,86	0,86
6	0,03	0,77	0,8
7	0,41	0,4	0,81
8	0,07	1,0	1,07
9	0	1,18	1,18
10	0,12	0,6	0,72
11	0	1,3	1,3
12	0	0,99	0,99
13	0	1,1	1,1
14	0	1,21	1,21
15	0	1,4	1,4

Очевидно, что исследованные составы характеризуются изменением собственных деформаций в процессе твердения не только количественно (изменение усадки от 0,4 мм/м до 1,4 мм/м, т.е. более чем в 3 раза), но и

качественно (наличие либо отсутствие расширения). Это обусловлено изменением вещественного состава МГГРЦ (соотношение ГЦ: Г и ГГРЦ: ПЦ), а также влиянием химических добавок на собственные деформации цементного камня. Варьирование состава МГГРЦ и изменение собственных деформаций в процессе твердения обеспечило изменение предела прочности МЗБ и ее кинетики, что вполне закономерно [7 – 11].

В табл. 3 приведены уравнения, описывающие зависимость предела прочности исследованных МЗБ от дозировки СП ( $x_1$ ), ВУД ( $x_2$ ) и МК ( $x_3$ ).

Таблица 3

Зависимость предела прочности на сжатие и растяжение от рецептурных факторов

Предел прочности	Уравнение
сжатие, 0,25 сут	$R_{сж}^{0,25} = 2,041 - 1,025x_1^2 - 0,318x_2^2$
сжатие, 7 сут	$R_{сж}^7 = 15,042 - 1,225x_1 - 1,458x_2$
сжатие, 28 сут	$R_{сж}^{28} = 21,611 - 1,141x_2$
изгиб, 0,25 сут	$R_{изг}^{0,25} = 0,664 + 0,059x_3 + 0,126x_2x_3 - 0,338x_1^2 - 0,134x_2^2$
изгиб, 7 сут	$R_{изг}^7 = 2,309 - 0,342x_1 - 0,798x_2 - 0,349x_3 - 0,521x_2x_3 + 0,691x_3^2$
изгиб, 28 сут	$R_{изг}^{28} = 3,895 - 0,155x_1 + 0,207x_2 + 0,285x_3 + 0,416x_2x_3 + 0,182x_3^2$

Из представленных в табл. 3 данных очевидно, что в ранний период твердения на предел прочности на сжатие негативное влияние оказывают СП и ВУД, что в принципе не противоречит известным данным о возможном влиянии добавок на формирование структуры и свойств цементного камня [6,12]. В проектном возрасте 28 сут на предел прочности на сжатие негативное влияние оказывает только ВУД. Зависимость предела прочности на растяжение при изгибе более сложная, что, вероятно, является следствием проявления внутрискруктурных напряжений в период развития собственных деформаций [7,8,11]. В МГГРЦ расширение связано с образованием гидросульфоалюминатов кальция (ГСАК), а нарастание прочности – с образованием ГСАК и гидросиликатов кальция при гидратации ПЦ. Добавки СП и ВУД могут оказывать различное влияние на кинетику указанных

процессов расширения и нарастания прочности [9], что может вызывать несогласованность процессов расширения и роста прочности, в т.ч. замедление роста и даже спады прочности во времени [13, 14]. Однако прямая зависимость изменения пределов прочности и соотношения пределов прочности изгиб/сжатие во времени от величины собственных деформаций в настоящем исследовании не выявлена.

На рис. 1 представлены данные о кинетике предела прочности на сжатие исследованных МЗБ.

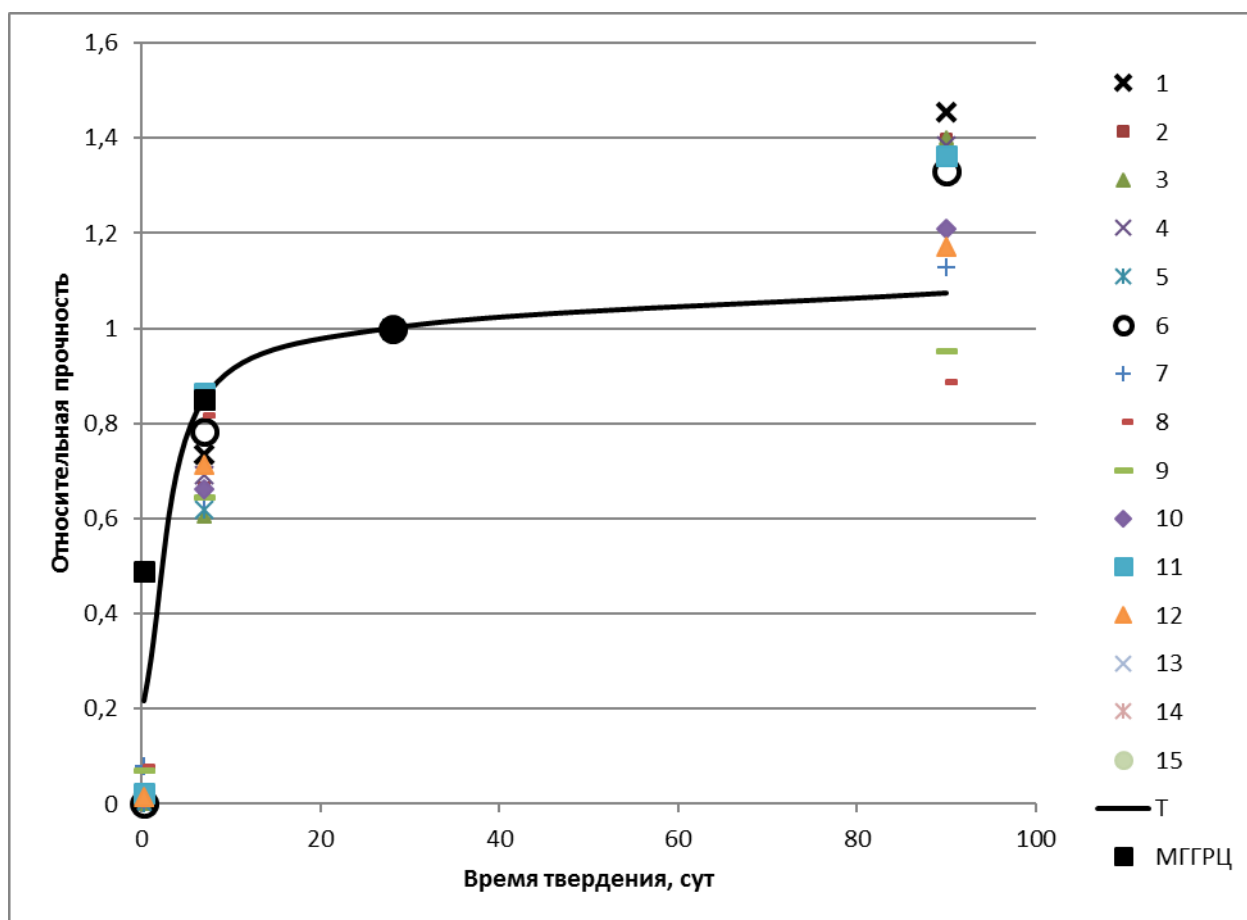


Рис. №1 - Кинетика прочности на сжатие

1 – 15 – составы по табл. 1; МГГРЦ –вяжущее;

Т – по формуле  $\frac{R_T}{R_{28}} = \exp(0,16 \cdot (1 - \sqrt{\frac{28}{T}}))$  [15] для особо быстротвердеющих бетонов

Очевидно, что лучшие результаты по кинетике прочности на сжатие обеспечивают составы № 1, 6 и 11 по табл. 1, но, поскольку состав № 11 обладает высокой усадкой 1,3 мм/м (по ГОСТ допускается не более 1 мм/м), то рациональными составами следует признать №1 и №6. Они же обеспечивают достаточно высокие показатели предела прочности на растяжение при изгибе (рис.2).

На рис. 2 представлены данные о соотношении пределов прочности на растяжение при изгибе и сжатии.

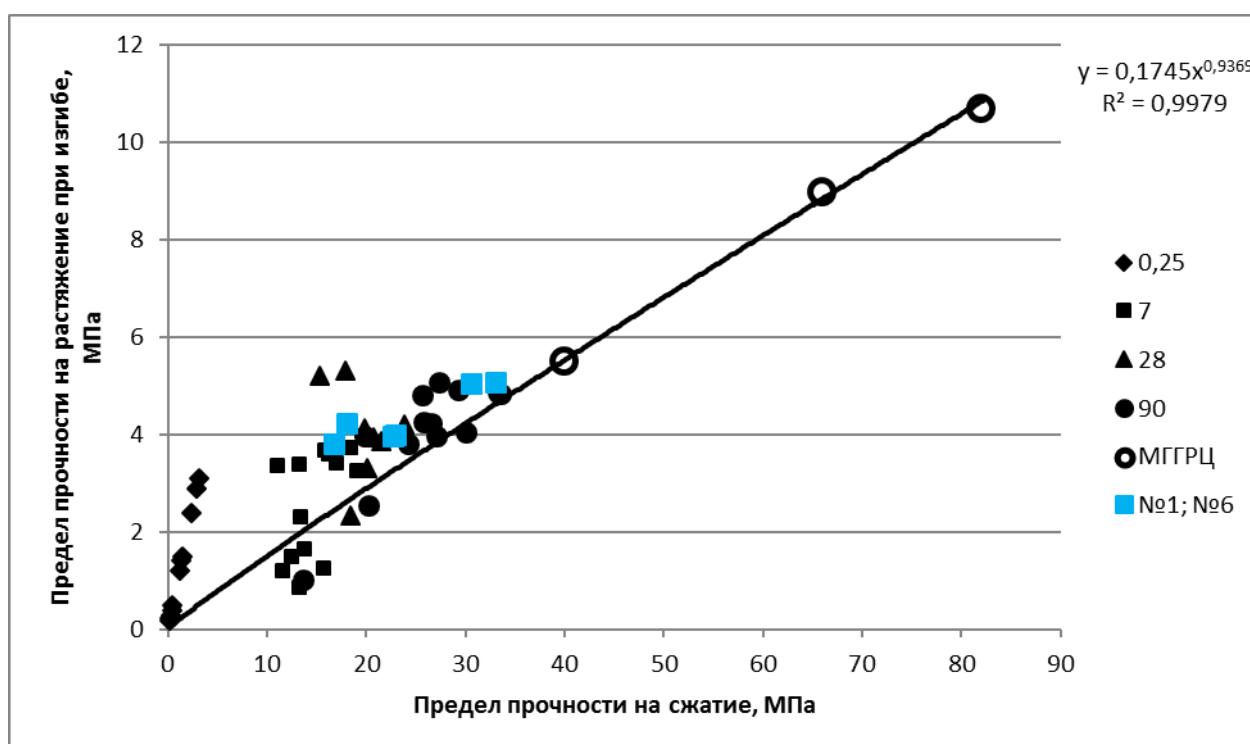


Рис. №2 -Соотношение пределов прочности на растяжение при изгибе и сжатие

0,25 – 90 – возраст МЗБ в сут; МГГРЦ – свойства вяжущего; №1; №6 – составы №1 и №6 по табл. 1

Уравнение регрессии на рис. 2 описывает соотношение между пределом прочности на растяжение при изгибе  $R_f$ (балочки 40x40x160 мм) и сжатие  $R_d$  для МГГРЦ:

$$R_f = 0,175 \cdot R^{0,94} \quad (1)$$

Из рис.2 очевидно:

- все составы по табл. 1 можно разделить на две группы: к первой относятся составы, у которых предел прочности на растяжение при изгибе не хуже, чем у МГГРЦ, ко второй – остальные;
- составы №1 и №6 по табл. 1, характеризующиеся высокими темпами твердения (рис. 1) и величиной усадки менее 1 мм/м (табл. 1), обладают достаточно хорошим соотношением  $R_f/R$  и, в принципе, могут после доводки быть использованы в качестве стяжек, укладываемых по упругому тепло- и звукоизоляционному слою, для которых величина  $R_f$  должна составлять не менее 4,5 МПа.

Выводы:

1. Кинетика прочности МЗБ на сжатие определяется соотношением ГЦ: Г: ПЦ в составе МГГРЦ, при этом СП и ВУД оказывают негативное влияние на нарастание прочности в ранний период, а МК не влияет на кинетику прочности в ранний период.
2. На предел прочности на сжатие в 28 сут негативное влияние оказывает ВУД, а МК не влияет на предел прочности на сжатие в 28 сут.
3. На соотношение пределов прочности на растяжение при изгибе и сжатие оказывают влияние внутрискруктурные напряжения, обусловленные несогласованностью процессов расширения и роста прочности во времени вследствие различного влияния добавок СП и ВУД на кинетику формирования гидросульфоалюминатов и гидросиликатов кальция.

## Литература



1. Налимова, А.В. Полимерцементные композиции с компенсированной усадкой для наливных полов: Автореф. дис. канд. техн. наук. – Ростов-на-Дону: РГСУ, 2006, - 214 с.
2. Несветаев Г.В., Налимова А.В. Структурообразование модифицированных смесей на различных вяжущих для наливных полов Строительство 2005 Материалы межд. конф. Ростов-на-Дону: РГСУ, 2005, с. 29 - 30.
3. Несветаев Г.В., Удодов С.А., Бычкова О.А. О влиянии состава модифицированного гипсоглиноземистого расширяющегося цемента на прочность и темп твердения // Наукоедение, 2015. – том.7, №6 URL:[naukovedenie.ru/PDF/01TVN615.pdf](http://naukovedenie.ru/PDF/01TVN615.pdf)
4. Несветаев Г.В., Давидюк А.Н. Самоуплотняющиеся бетоны (SCC): усадка // Строительные материалы. – 2009. - №8. – с. 52-54
5. Несветаев Г.В., Тимонов С.А. О прогнозировании усадки цементных бетонов: Современные проблемы строительного материаловедения // Пятые академические чтения. - Воронеж: ВГАСА, 1999 – с. 305-311
6. Несветаев Г.В., Давидюк А.Н. Гиперпластификаторы «Melflux» для сухих строительных смесей и бетонов Строительные материалы. – 2010. - № . 3. – с. 38 – 40
7. Резван И.В., Резван А.В. От гипсоглиноземистого расширяющегося цемента (ГГРЦ) к напрягающему цементу (НЦ). Изменение кинетики расширения // Инженерный вестник Дона, 2013, №4URL:[ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/2191](http://ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/2191)
8. Логанина В.И., Акжигитова Э.Р. Трещиностойкость отделочных покрытий на основе сухих строительных смесей с применением сырья пензенского региона // Приволжский научный журнал, 2013, №3, с. 34-39
9. Несветаев Г.В., Кардумян Г.С. Прочность цементного камня с суперпластификаторами и органоминеральными модификаторами с учетом



его собственных деформаций при твердении Бетон и железобетон 2013. - №5.  
– с. 6-8

10. Несветаев Г.В., Корянова Ю.И. Управление собственными деформациями цементного камня изменением состава и количества расширяющей добавки Научное обозрение. – 2013. - №11. –46 с.

11. Несветаев Г.В., Кардумян Г.С. Влияние собственных деформаций на пористость и свойства цементного камня Строительные материалы. – 2015. - №9. – с. 38-42

12. Nesvetaev, G.V., Korchagin, I.V., Lopatina, Y.Y. About influence of superplasticizers and mineral additives on creep factor of hardened cement paste and concrete Solid State Phenomena ISSN: 1662-9779, Vol. 265, pp. 109-113

13. Кузнецова Т.В. Алюминатные и сульфоалюминатные цементы. М., Стройиздат, 1989. – 209 с.

14. Панченко А.И., Несветаев Г.В. Критерии оценки расширяющихся вяжущих и бетонов на их основе// Сборник статей II Межвузовской научно-технической конференции: Проблемы технологии производства строительных материалов, изделий и конструкций, строительства зданий и сооружений. Часть I. – Брест 1998. – с. 179-189

15. Несветаев Г.В. Бетоны: учебно-справочное пособие. 2-е изд., перераб и доп. Ростов-на-Дону: Феникс, 2013. – 381 с.

16 Г.В. Несветаев, А.В. Козлов, И.А. Филонов Влияние некоторых гидрофобизирующих добавок на изменение прочности цементного камня / Инженерный вестник Дона, 2013, №2 URL: ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1709

17 Powers, T.C., Helmut, R.F. Theory of Volume Changes in Hardened Portland Cement Pastes During Freezing. Proc. Highway Res. Board 32:285.-19531 – 5 p.

## References

1. Nalimova, A.V. Polimercementnye kompozicii s kompensirovannoj usadkoj dlya nalivnyh polov [Polymer cement compositions with compensated shrinkage for self-leveling floors]: Avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk. Rostov-na-Donu: RGSU, 2006, 214 p.
  2. Nesvetaev G.V., Nalimova A.V. Stroitel'stvo 2005 Materialy mezhd. konf. Rostov-na-Donu: RGSU, 2005, pp. 29 - 30.
  3. Nesvetaev G.V., Udodov S.A., Bychkova O.A. Naukovedenie, 2015. V.7, №6 URL: [naukovedenie.ru/PDF/01TVN615.pdf](http://naukovedenie.ru/PDF/01TVN615.pdf)
  4. Nesvetaev G.V., Davidyuk A.N. Stroitel'nye materialy. 2009. №8. pp. 52 - 54
  5. Nesvetaev G.V., Timonov S.A. Pyatye akademicheskie chteniya. Voronezh: VGASA, 1999. pp. 305 - 311
  6. Nesvetaev G.V., Davidyuk A.N. Stroitel'nye materialy. 2010. № 3. pp. 38 – 40
  7. Rezvan I.V., Rezvan A.V. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №4 URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/2191](http://ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/2191)
  8. Loganina V.I., Akzhigitova E.H.R. Privolzhskij nauchnyj zhurnal, 2013, №3, pp. 34 - 39
  9. Nesvetaev G.V., Kardumyan G.S. Beton I zhelezobeton 2013. №5. pp. 6 - 8
  10. Nesvetaev G.V., Koryanova YU.I. Nauchnoe obozrenie. 2013. №11. 46 p.
  11. Nesvetaev G.V., Kardumyan G.S. Stroitel'nye materialy. 2015. №9. pp. 38 – 42
  12. Nesvetaev, G.V., Korchagin, I.V., Lopatina, Y.Y. About influence of superplasticizers and mineral additives on creep factor of hardened cement paste and concrete Solid State Phenomena ISSN: 1662-9779, Vol. 265, pp.109-113.
  13. Kuznecova T.V. Alyuminatnye I sul'foalyuminatnye cement [Aluminate and sulfoaluminate cements]. M., Strojizdat, 1989. 209 p.
-



14. Panchenko A.I., Nesvetaev G.V. Sbornik statej II Mezhvuzovskoj nauchno-tekhnicheskoj konferencii: Problemy tekhnologii proizvodstva stroitel'nyh materialov, izdelij i konstrukcij, stroitel'stva zdanij i sooruzhenij. CHast' I. Brest 1998. pp. 179 - 189

15. Nesvetaev G.V. Betony: uchebno-spravochnoe posobie [Concrete: training manual]. 2-e izd., pererabidop. Rostov-na-Donu: Feniks, 2013. 381 p.

16. Nesvetaev G.V., Kozlov A.V., Filonov I.A. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №2 URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1709](http://ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1709)

17. Powers, T.C., Helmut, R.F. Theory of Volume Changes in Hardened Portland Cement Pastes During Freezing. Proc. Highway Res. Board 32:285.-19531 – 5 p.