

## **ВЛИЯНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ И МИНЕРАЛЬНЫХ МОДИФИКАТОРОВ НА ФИЗИКО- МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РЕМОНТНЫХ СИСТЕМ**

**Гедулян С.И.**

*Одесская государственная академия строительства и архитектуры,  
Украина*

Введение в растворные смеси для ремонта и восстановления бетонных и железобетонных конструкций на основе цементного вяжущего комплекса полимерных и минеральных добавок позволяет в полной мере регулировать параметры данных композиций. Управление рецептурными факторами позволяет добиться желаемых свойств, экономичности использования материалов и затрат на производство ремонтных работ.

Наличие в составе комплекса таких добавок во многом определяет эффективность применения ремонтных систем, что является залогом долговечности восстанавливаемых конструкций [1].

Поэтому целью работы является показать возможность такого тонкого регулирования с применением методов экспериментально-статистического моделирования для оптимизации параметров и технологичности композиций.

Для проведения экспериментальной части в соответствии с планом ВЗ были подготовлены составы ремонтных смесей при постоянных (цемент ПЦ-I-500, мелкий заполнитель – кварцевый песок с крупностью зерен до 0,63, пластификатор нафталинформальдегидного типа производства «ООО Будиндустрия», ультрадисперсный наполнитель – метакаолин Centrlit NC и стабилизатор смеси – гидроксипропилметилцеллюлоза WeKcelo MP 150 HMR производства WeiKem) и варьируемых (добавка-«ускоритель» на основе чистого алюмината натрия, редисперсионный порошок (РПП) – сополимер винилацетат-этилен VA-E Dairen DA-1400 компании DCC и суперабсорбент (САП) на основе анионного полиакриламида) факторах состава. Общий план эксперимента и дозировки компонентов представлены в табл. 1.

Важным моментом проектирования состава сухой смеси стал подбор дозировок компонентов. В виду того, что часть добавок дозируется по массе вяжущего, а часть – от общей массы смеси, состав проектировался из расчета массовых частей с использованием переводных коэффициен-

тов, обеспечивающих сохранение внутрисмесевого соотношения компонентов при расчете на любую необходимую массу готовой смеси.

Для сохранения необходимой рабочей консистенции, одинаковой для всех исследуемых растворов, решалась задача подбора расхода воды (В) для сухой смеси согласно методике по определению распыла через кольцо прибора Вика [3].

Индивидуальное влияние варьируемых добавок на потребность сухой смеси в воде показано на рис. 1.

Введение добавки суперабсорбента в небольших количествах (до 0,4% от общей массы смеси) значительно увеличивает водоудерживающую способность, что требует большего расхода воды, напротив дозировка редисперсионного порошка в границах 0...+1 позволяет его снизить, добавка-«ускоритель» в целом на расход воды влияет незначительно.

Комплексное влияние этих добавок показано на рис. 2.

Минимальная водопотребность достигается при содержании РПП выше среднего уровня и минимальной дозировке САП, а при увеличении последней и снижении РПП этот показатель достигает максимума. Добавка-«ускоритель» на водопотребность влияния практически не оказывает. Данный показатель оказывает огромное влияние на обеспечение качественной совместной работы всех уровней системы поврежденная поверхность – грунтовочный слой – ремонтная композиция [7, 8], поэтому ей необходимо уделять особое внимание. Избыточное количество влаги, находящееся в растворе, понижает прочностные характеристики и технологичность ремонтного материала и напротив: недостаток влаги приводит к ухудшению качества процессов гидратации, возникновению избыточных деформаций и, как следствие, растрескиванию и снижению адгезионных показателей.

На втором этапе оценивались прочностные характеристики готовых ремонтных составов, для чего были изготовлены образцы-балочки размерами 2х2х8 см [6], показанные на рис. 3.

Испытания прочности на изгиб проводились на ручном прессе с приставкой-динамометром CAS Corp. и регистрирующим прибором компании «ООО Будиндустрия»; на сжатие – на испытательной машине Р-620 с приставкой (рис. 4).

На рис. 5, 6 показано индивидуальное влияние варьируемых факторов на прочность ремонтных композитов на 28-е сутки на изгиб (а) и сжатие (б) соответственно.

Таблица 1. - Подбор состава смеси

На 100 г сухого вещества

x1	x2	x3	x1 УСК	x2 РПП	x3 САП
-1	-1	-1	0	0	0
-1	-1	1	0	0	0,4
-1	0	0	0	2	0,2
-1	1	-1	0	4	0
-1	1	1	0	4	0,4
0	-1	0	2	0	0,2
0	1	0	2	4	0,2
0	0	-1	2	2	0
0	0	1	2	2	0,4
0	0	0	2	2	0,2
1	-1	-1	4	0	0
1	-1	1	4	0	0,4
1	0	0	4	2	0,2
1	1	-1	4	4	0
1	1	1	4	4	0,4

На 1000 г сухого вещества

x1 УСК	x2 РПП	x3 САП	ЦЕМ	ПЕ- СОК 0,63	СП	Мета- каолин	Эфир целлюлозы
0	0	0	420	478,64	1,26	100	0,1
0	0	4	420	474,64	1,26	100	0,1
0	20	2	420	456,64	1,26	100	0,1
0	40	0	420	438,64	1,26	100	0,1
0	40	4	420	434,64	1,26	100	0,1
8,4	0	2	420	468,24	1,26	100	0,1
8,4	40	2	420	428,24	1,26	100	0,1
8,4	20	0	420	450,24	1,26	100	0,1
8,4	20	4	420	446,24	1,26	100	0,1
8,4	20	2	420	448,24	1,26	100	0,1
16,8	0	0	420	461,84	1,26	100	0,1
16,8	0	4	420	457,84	1,26	100	0,1
16,8	20	2	420	439,84	1,26	100	0,1
16,8	40	0	420	421,84	1,26	100	0,1
16,8	40	4	420	417,84	1,26	100	0,1

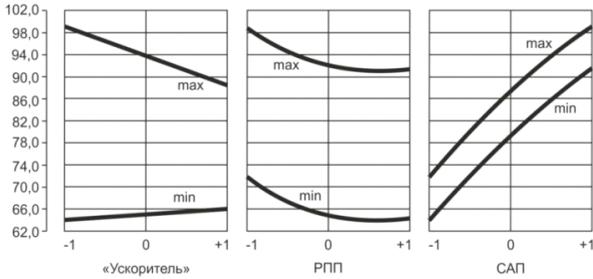


Рис. 1. Индивидуальное влияние РПП, САП и добавки-«ускорителя» на водопотребность смеси

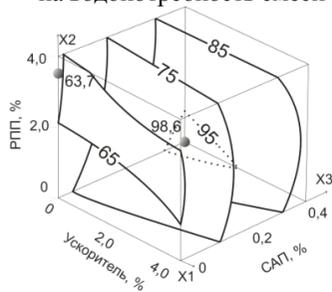


Рис. 2. Комплексное влияние РПП, САП и добавки-«ускорителя» на водопотребность смеси

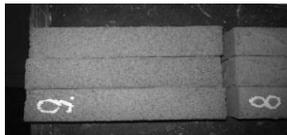


Рис. 3. Образцы-балочки для испытания растворов на прочность, на изгиб и сжатие



Рис. 4. Ручной пресс для испытания прочности образцов на изгиб

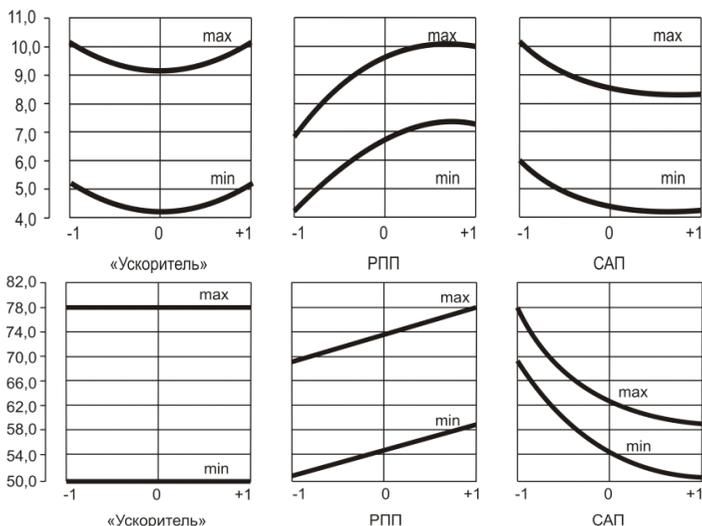


Рис. 5. Индивидуальное влияние РПП, САП и добавки-«ускорителя» на прочность на изгиб (а) и сжатие (б) на 28-е сутки

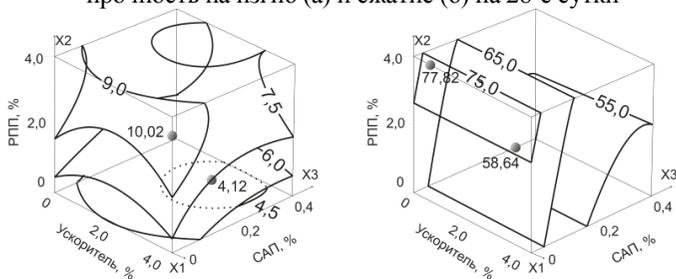


Рис. 6. Комплексное влияние РПП, САП и добавки-«ускорителя» на прочность, на изгиб (а) и сжатие (б) на 28-е сутки

Добавка-«ускоритель» особого влияния на прочность в поздние сроки не оказывает, увеличивая ее лишь на ранних этапах, что важно для сокращения сроков проведения ремонтных работ. Редисперсионный порошок улучшает показатель при дозировках, близких к максимальным, а при увеличении количества водонасыщенного полиакриламидного геля в растворе его прочность снижается. Дальнейшей задачей является индивидуальный подбор и оптимизация состава компонентов для получения смесей с необходимыми в конкретных условиях свойствами.

Еще одним основным требованием, регламентируемым стандартами [2, 3], является адгезия ремонтного раствора к бетонному основанию.

Измерение адгезионной прочности проводилось на адгезиометре DYNA (Z16 Pull-off Tester) в соответствии со стандартной методикой испытаний [4].



*Рис. 7. Адгезиометр DYNA Z16.*

При этом важным является учет механических свойств бетонной подложки и контактного грунтовочного слоя [5]. Поэтому было реализовано совмещение двух планов эксперимента: исходный В3, использованный для подбора составов смесей, был «достроен» до «Хартли-5»: двумя дополнительными факторами были приняты водоцементное отношение (0,4...0,5...0,6), использованное при изготовлении эталонных плит, как характеристика пористости их поверхности и некоторых механических свойств, необходимых для обеспечения нормальной совместной работы с ремонтным композитом, таких как модуль упругости, и толщина грунтовочного слоя (0...0,1...0,2 л/м<sup>2</sup>). Фрагмент двух объединенных планов представлен в табл. 2.

Поиск оптимальных рецептов с учетом характеристик грунтовочного слоя и поврежденного основания рационально проводить с использованием процедуры случайного сканирования полей свойств (метод Монте-Карло), разработанной профессорами В.Вознесенским и Т.Ляшенко [9].

### ***Вывод***

Таким образом, для достижения наилучшего результата необходим системный подход при выборе материалов для производства ремонтных работ, учитывающий все аспекты разработки и применения ремонтных смесей, для обеспечения их полной совместимости с поврежденными объектами. Это является гарантией успешности проводимых работ и долговечности восстанавливаемых конструкций.

Таблица 2. Объединенные планы В3 и «Хартли-5»

№ п/п	x1 УСК, %	x2 РПП, %	x3 САП, %	x4 В/Ц плит	x5 Расход грунт., л/м <sup>2</sup>	x1 УСК, %	x2 РПП, %	x3 САП, %	x4 В/Ц плит	x5 Расход грунт., л/м <sup>2</sup>
1..	-1	-1	-1	-1	+1	0	0	0	0,4	0,2
..3..	-1	-1	-1	+1	-1	0	0	0	0,6	0
..6..	-1	+1	-1	-1	-1	0	4	0	0,4	0
..9..	-1	+1	+1	+1	-1	0	4	0,4	0,6	0
..12..	0	0	-1	0	0	2	2	0	0,5	0,1
..15..	0	0	0	+1	0	2	2	0,2	0,6	0,1
..18..	0	0	0	0	0	2	2	0,2	0,5	0,1
..21..	+1	-1	-1	+1	+1	4	0	0	0,6	0,2
..24..	+1	+1	-1	-1	+1	4	4	0	0,4	0,2
..27	+1	+1	+1	+1	+1	4	4	0,4	0,6	0,2

### Summary

**Rapidly-hardening polymer-cementitious mortars (RHPCM) based on dry building mixes for repair of concrete and reinforced concrete structures are characterized by a multi-component compositions and multi-criteriality properties that determines the efficiency of multivariate modeling and multi-parameter optimization in finding of rational compositions of RHPCM.**

1. Czarnecki L., Emmons P.H. Naprawa i ochrona konstrukcji betonowych, Polski Cement, Kraków 2002. 2. ДСТУ Б В.2.7-126:2011. «Суміші будівельні сухі модифіковані. Загальні технічні умови.». 3. EN 1504:2005. Products and systems for the protection and repair of concrete structures. 4. EN 1542:1999. Products and systems for the protection and repair of concrete structures. Test methods. Measurement of bond strength by pull-off. 5. Sergey Gedulyan. Features of the Composition of Rapidly-hardening Non-shrinkage Polymer-cementitious Mortars for Repairing of Building Objects // Материалы международной конференции – Olsztyn, Poland, 2013. 6. EN 1015-11:2000. Methods of test for mortar. 7. Гедулян С.И., Коваль С.В., Савченко С.В. Совместимость как критерий отбора эффективных материалов для ремонта бетонных и железобетонных конструкций. – Материалы международной конференции «Структурообразование, прочность и разрушение композиционных строительных материалов и конструкций. – Одесса, 2014. 8. Гедулян С.И. Нормативная база проектирования полимерцементных смесей для ремонта и восстановления строительных объектов. – Одесса: Вісник ОДАБА, 2013. – 144 с. 9. Вознесенский В.А., Ляшенко Т.В. ЭС-модели в компьютерном строительном материаловедении. – Одесса: Астропринт, 2006. – 116 с.