

УДК 666.965

## ОПИСАНИЕ ВОДОСТОЙКОСТИ ГИПСОСОДЕРЖАЩИХ КОМПОЗИЦИЙ С ПОМОЩЬЮ КОМБИНИРОВАННОГО КРИТЕРИЯ

Кандидаты техн. наук В. Я. Керш, А. В. Фощ, А. В. Колесников (ОГАСА)

## ОПИС ВОДОСТІЙКОСТІ ГИПСОВМІСНИХ КОМПОЗИЦІЙ ЗА ДОПОМОГОЮ КОМБІНОВАНОГО КРИТЕРІЮ

Кандидати техн. наук В. Я. Керш, А. В. Фощ, А. В. Колесников (ОДАБА)

## DESCRIPTION OF WATER RESISTANT GYPSUM-CONTAINING COMPOSITION WITH A COMBINED CRITERIA

Cand. of techn. sciences, professor V. Kersh, A. Foshch, A. Kolesnikov

*В статье рассматриваются характеристики водостойкости композитных материалов на основе гипсо-цементно-зольных вяжущих. На примерах соотношений прочностных характеристик материала показано, что классический коэффициент размягчения является недостаточно корректной оценкой его водостойкости. Предложена более объективная и точная характеристика – индекс водостойкости  $K_w$ , имеющий характер приведенной прочности. Показано, что индекс водостойкости коррелирует с прочностными характеристиками на порядок лучше, по сравнению с коэффициентом размягчения. Рассмотрены преимущества предлагаемой характеристики перед существующими и возможность обобщения предлагаемого подхода на другие характеристики материала. Индекс водостойкости может использоваться в качестве критерия оптимальности в задачах материаловедения.*

**Ключевые слова:** гипс, водостойкость, композиционное гипсовое вяжущее, коэффициент размягчения, индекс водостойкости.

*У статті розглядаються характеристики водостійкості композитних матеріалів на основі гіпсо-цементно-зольних в'язучих. На прикладах співвідношень міцності матеріалу показано, що класичний коефіцієнт розм'якшення є недостатньо коректною оцінкою його водостійкості. Запропоновано більш об'єктивну і точну характеристику – індекс водостійкості  $K_w$ , що має характер приведеної міцності. Показано, що індекс водостійкості корелює з міцністю на порядок краще в порівнянні з коефіцієнтом розм'якшення. Розглянуто переваги запропонованої характеристики перед існуючими та можливість узагальнення запропонованого підходу на інші характеристики матеріалу. Індекс водостійкості може використовуватися як критерій оптимальності у задачах матеріалознавства.*

**Ключові слова:** гіпс, водостійкість, композиційне гіпсове в'язуче, коефіцієнт розм'якшення, індекс водостійкості.

*This article discusses the characteristics of the water resistance of composite materials based on gypsum-cement-ash binders. The example of the relationship of strength characteristics demonstrates that the classical softening coefficient is not enough proper evaluation of its water resistance. A more objective and accurate description - the index of water resistance  $K_w$ , having the character of the corrected strength, is proposed. It has been shown that water resistance index correlates with the strength characteristics much better than the softening coefficient. Authors*

consider the advantages of the proposed characteristics over existing and generalization of proposed approach to other characteristics of the material. Water resistance index can be used as an optimality criterion in materials science problems.

**Keywords:** gypsum, water resistant, composite gypsum binders, softening coefficient, an index of water resistance.

**Введение.** Общей задачей строительного материаловедения является создание композитных материалов из доступных и недорогих компонентов с целью максимальной реализации их потенциальных преимуществ. Универсальное решение этой задачи отсутствует. В частности недостаточно использованы возможности материалов на основе гипсовых вяжущих, получение и использование которых перспективно как с экономических, так и экологических позиций. Существенным недостатком таких композитов является потеря прочности при их увлажнении. Степень водостойкости материалов оценивается коэффициентом размягчения  $K_p$ , равным отношению прочностей при сжатии в водонасыщенном и сухом состоянии [1]:  $K_p = R_g/R_{сух}$ . Коэффициент размягчения изделий из чистого гипса  $K_p = 0,3 - 0,5$ . Прочность гипсовых композитов с рыхлыми наполнителями (например, перлит) резко уменьшается при контакте с влагой, вплоть до самопроизвольного разрушения в водонасыщенном состоянии. Повышение водостойкости гипсовых композитов является актуальной задачей.

Коэффициент размягчения, как характеристика водостойкости материалов на гипсовых вяжущих, имеет некоторые недостатки. В частности материалы с низкой прочностью в водонасыщенном состоянии могут характеризоваться высоким значением  $K_p$ . Представляется целесообразной разработка иной характеристики водостойкости, лишенной рассмотренного недостатка.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Повышение водостойкости гипсовых композитов осуществляется в основном по двум направлениям: 1) создание смесей с пониженной растворимостью на основе гипса и цемента с обязательной добавкой компонентов с пуццоланической активностью (золы и шлаки, трепел, опока) для предотвращения образования этtringита; 2) применение гидрофобизирующей обработки. На первом пути были получены ГЦП и ГЦШ вяжущие [2-6]. Объемная и поверхностная гидрофобизации также увеличивают водостойкость материала [7, 8]. Одновременное применение указанных приемов может повысить водостойкость материалов на основе гипса до  $K_p = 0,7 - 0,8$  [8].

Перспективным направлением является разработка многокомпонентного композиционного материала на основе гипса, цемента, золы – ЗГЦВ [9-11], теплоизолирующего наполнителя – перлита и гидрофобизирующих добавок.

**Определение цели и задач исследований.** Целью исследования являлось улучшение качества критериев оценки водостойкости гипсосодержащих композиций. Задача исследований – на основе результатов экспериментального исследования прочности гипсосодержащих материалов разработать методику оценки водостойкости, более тесно связанной с прочностью материала в водонасыщенном состоянии.

**Основная часть исследования.** В исследовании с использованием указанных компонентов, согласно методике [6], сформирован 3-факторный план эксперимента для исследований свойств золоперлитобетона средней плотностью  $1500 \text{ кг/м}^3$ . Изготовлены 15 опытных образцов и

определены их свойства, в частности прочность при сжатии в сухом и

водонасыщенном состояниях, а также коэффициент размягчения (табл. 1).

Таблица 1

Прочность опытных образцов в сухом, водонасыщенном состоянии и характеристики их водостойкости

Номер образца	$R_{\text{сух}}$ , МПа	$R_{\text{в}}$ , МПа	$K_p$	$K_{\text{в}}$ , МПа
1	2	3	4	5
1	18,0	11,0	0,61	6,73
2	10,1	6,6	0,65	4,32
3	19,8	9,8	0,50	4,85
4	9,7	4,7	0,48	2,26
5	8,5	4,9	0,57	2,81
6	20,3	9,9	0,49	4,82
7	4,8	3,0	0,62	1,84
8	14,0	6,5	0,47	3,04
9	11,6	8,8	0,76	6,68
10	10,5	6,7	0,64	4,27
11	11,7	9,2	0,79	7,27
12	13,7	7,9	0,58	4,60
13	13,9	9,9	0,71	6,99
14	13,0	6,2	0,48	2,94
15	6,2	3,4	0,54	1,80

Коэффициент размягчения  $K_p$ , рассчитанный для серии опытных образцов (табл. 1), неоднозначно отражает фактическую водостойкость материала. Например, прочность при сжатии в сухом состоянии образца № 1:  $R_{\text{сух}} = 18,0$  МПа, прочность при сжатии в водонасыщенном состоянии  $R_{\text{в}} = 11,0$  МПа и коэффициент размягчения  $K_p = 0,61$ . Для образца № 2:  $R_{\text{сух}} = 10,1$  МПа,  $R_{\text{в}} = 6,61$  МПа, а  $K_p = 0,65$ , то есть больше, чем для 1-го образца, хотя прочностные характеристики 2-го образца значительно хуже, чем 1-го.

Другой характерный пример – соотношение прочностных характеристик и коэффициентов размягчения образцов №№ 5, 6 и 7. Самый высокий коэффициент размягчения  $K_p = 0,62$  у образца № 7 с наихудшими прочностными показателями, и наоборот, самый низкий коэффициент размягчения  $K_p = 0,49$  у образца № 6 с высокими прочностными показателями:

прочность в водонасыщенном состоянии образца № 6 превышает аналогичную характеристику 7-го образца более чем в три раза. То есть материал, например с коэффициентом размягчения 0,9, может быть отнесен, по формальному признаку, к водостойким, хотя абсолютные значения прочности могут быть недопустимо низкими.

Анализ зависимости коэффициента размягчения от прочности образцов в сухом и водонасыщенном состоянии (рис. 1) показал отсутствие взаимной статистической связи.

Введенный в качестве параметра оптимизации в математическую модель коэффициент размягчения не позволяет получить адекватные выводы о влиянии рецептурных факторов на водостойкость материала, а следовательно, дать правильные рекомендации при разработке составов материалов с требуемыми свойствами.

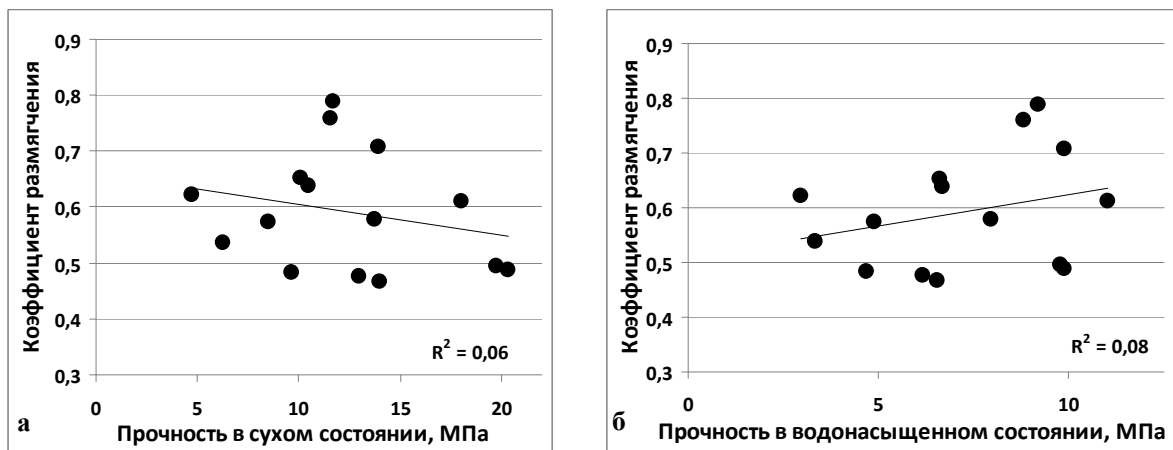


Рис. 1. Связь коэффициента размягчения с прочностью образцов в сухом (а) и водонасыщенном (б) состоянии

Таким образом, общепринятая характеристика – коэффициент размягчения, на наш взгляд, не может служить однозначным критерием оценки водостойкости материалов рассматриваемого класса. Существенно более важной характеристикой гипсосодержащих композитов является их прочность, особенно в водонасыщенном состоянии, так как даже предназначенные для эксплуатации внутри помещений материалы могут оказаться в экстремальных условиях (бытовое затопление, в результате повреждения ограждающих конструкций, в частности кровли, окон, при гашении пожаров водой и др.). Кроме того, существенное повышение водостойкости материалов на гипсовых вяжущих, с учетом рассмотренных прочностных характеристик, позволило бы расширить область их применения, в том числе в наружных ограждающих конструкциях.

Более полезным критерием водостойкости представляется предлагаемый нами индекс водостойкости  $K_B$  – коэффициент, в котором «усилено» значение прочности в водонасыщенном состоянии  $K_B = R_{вл}^2 / R_{сух}$  (табл. 1). Приведенные на

рис. 2 графики отражают значительно более высокую достоверность аппроксимации взаимосвязей индекса водостойкости и прочностных показателей материала, по сравнению с традиционным коэффициентом размягчения.

Предлагаемый индекс водостойкости позволяет более объективно и точно оценивать степень водостойкости материалов и сравнивать их между собой по этому признаку, так как он:

1) статистически детерминирован – более высоким значениям прочности, как правило, соответствует более высокий индекс водостойкости, что позволяет использовать его в качестве критерия оптимальности в задачах материаловедения;

2) имеет физический смысл приведенной прочности,  $K_e = K_p \cdot R_e$ , МПа;

3) изменяется в большем диапазоне значений (табл. 1:  $K_B = 1,80-7,27$ ), что повышает точность оценки водостойкости по сравнению с коэффициентом размягчения, варьирующим в пределах всего нескольких десятых ( $K_p = 0,48-0,79$ ).

Кроме того, расчетная формула индекса водостойкости проста и его смысл интуитивно понятен.

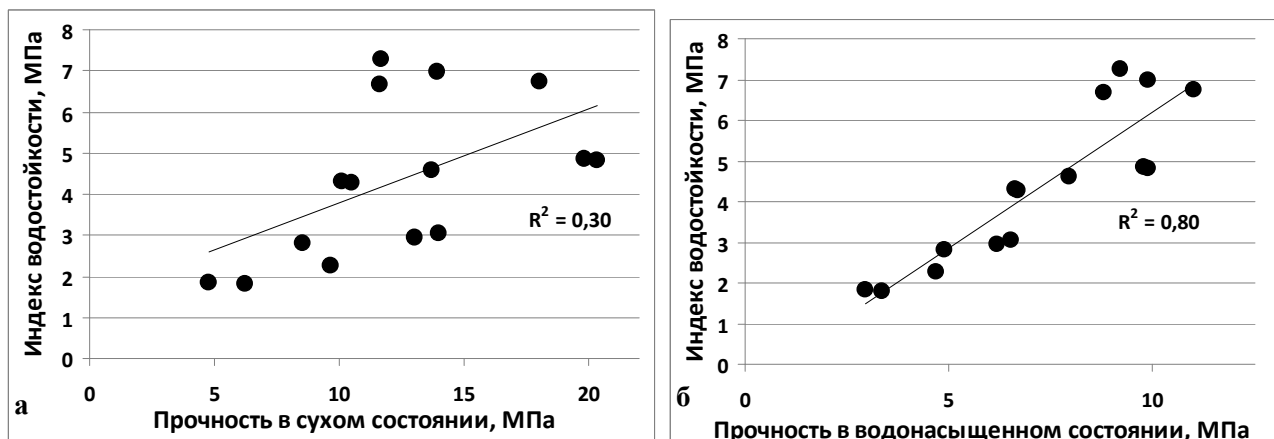


Рис. 2. Связь индекса водостойкости с прочностью образцов в сухом (а) и водонасыщенном (б) состоянии

**Выводы из исследования и перспективы, дальнейшее развитие в данном направлении.** Переход от классического коэффициента размягчения к индексу водостойкости является частью стратегии иерархической оптимизации материала

[12]. Она основана на последовательном процессе группировки отдельных характеристик, приводящем в итоге к единой глобальной функции оптимальности (рис. 3).

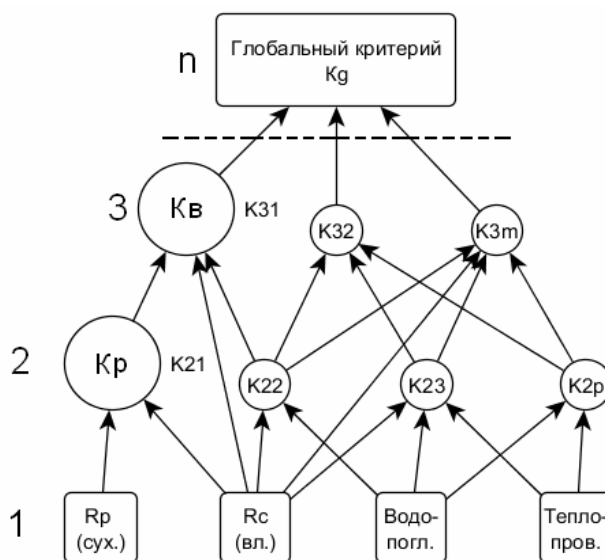


Рис. 3. Схема иерархической оптимизации в материаловедении

На каждом иерархическом уровне происходит усложнение критериев, включение в них критериев оптимальности, находящихся на предыдущих уровнях.

Критерии, принадлежащие предшествующим уровням, входят в задачу оптимизации посредством ограничений, отражающих нормативные характеристики. Так, у

рассмотренных выше материалов можно оптимизировать индекс водостойкости, сохраняя для коэффициента размягчения лишь граничные требования, согласующиеся с принятыми нормативами. При этом промежуточные парциальные

критерии и в частности индекс водостойкости, в ряде случаев могут представлять самостоятельный интерес и быть полезными для исследования и оптимизации материалов разных классов.

### Список использованных источников

1. Дворкин, Л. И. Строительные минеральные вяжущие материалы [Текст] / Л. И. Дворкин, О. Л. Дворкин. – М.: Инфра-Инженерия, 2011. – 544 с.
2. Волженский, А. В. Гипсоцементнопуццолановые вяжущие, бетоны и изделия [Текст] / А. В. Волженский, В. И. Стамбулко, А. В. Ферронская. – М.: Стройиздат, 1971. – 318 с.
3. Vimmrova A. Lightweight gypsum composites: design strategies for multi-functionality [Text] / A. Vimmrova, M. Keppert, L. Svoboda, R. Cerny // Cement and Concrete Composites. – 2011. – P. 84-89.
4. Bakker, J.J.F.: Mortar and concrete based on calcium sulphate, 2006, Civil Engineering Bachelor Thesis, University Twente, Enschede, The Netherlands.
5. Данилович, И. Ю. Использование топливных шлаков и зол для производства строительных материалов [Текст] / И. Ю. Данилович, Н. А. Сканави. – М.: Высшая школа. 1988. – 77 с.
6. Волженский, А. В. Применение зол и топливных шлаков в производстве строительных материалов [Текст] / А. В. Волженский, И. А. Иванов, Б. Н. Виноградов. – М.: Стройиздат, 1984. – 255 с.
7. Фощ, А. В. Оцінка якості гідрофобізуючих добавок та їх вплив на водостійкість гіпсу [Текст] / А. В. Фощ, В. Я. Керш, А. В. Колесников // Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп. – Харків: УкрДУЗТ, 2015. – Вип. 157. – С. 49-53.
8. Коровяков, В. Ф. Перспективы применения водостойких гипсовых вяжущих в современном строительстве [Текст] / В. Ф. Коровяков // Повышение эффективности производства и применения гипсовых материалов и изделий: материалы Всероссийского семинара. – М., 2002. – С. 51-56.
9. Гасан, Ю. Г. Особливості складу та структуроутворення композитів на основі енергозберігаючої модифікованої зологіпсоцементної в'язучої речовини для виготовлення виробів зовнішнього опорядження будинків [Текст] / Ю. Г. Гасан, Г. В. Кучерова, О. В. Сергієнко // Будівельні матеріали, виробы та санітарна техніка: наук.-техн. зб. – К.: Товариство «Знання України», 2013. – Вип. 48. – С. 122-127.
10. Kovler, K. “Strength and Water Absorption for Gypsum - Cement Silica Fume Blends of Improved Performance”; Advances in Cement Research, 10, 1998. – P. 81-92.
11. Bentur, A. et al, “Gypsum of Improved Performance Using Blends with Portland Cement and Silica Fume”; Advances in Cement Research, 6, 1994. – P. 109-116.
12. ЭВМ и оптимизация композиционных материалов [Текст] / В. А. Вознесенский, Т. В. Ляшенко, Я. П. Иванов [и др.]. – К.: Будівельник, 1989. – С. 55-97.

---

Керш Володимир Якович, канд. техн. наук, професор, завідувач кафедри міського будівництва та господарства Одеської державної академії будівництва та архітектури. Тел.: (067)775-42-04 E-mail: vkersh@hotmail.com.  
Фощ Альона Вікторівна, канд. техн. наук, доцент кафедри міського будівництва та господарства Одеської державної академії будівництва та архітектури. Тел.: (097)045-62-62. E-mail: nikitkos@gmail.com.

---

Колесников Андрій Валерійович, канд. техн. наук, старший викладач Одеської державної академії будівництва та архітектури. Тел.: (050)554-84-13. E-mail: kolesn@stikonet.od.ua.

Kersh V.Ya., Cand. Sc., Prof., Head of the Department of Urban Development and Municipal Engineering Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture. Tel.: (067) 775-42-04. E-mail: vkersh@hotmail.com.

Foshch A. V., Cand. Sc., Associate Prof. Department of Urban Development and Municipal Engineering Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture. Tel.:(097)045-62-62. E-mail: nikitkos@gmail.com.

Kolesnikov A. V., Cand. Sc., Assistant Prof. Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture. Tel.: (050)554-84-13. E-mail: kolesn@stikonet.od.ua.

Стаття прийнята 14.03.2017 р.