

**ПОДБОР СОСТАВА МАТРИЧНОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ
КОСТРОБЕТОНА НА ОСНОВЕ ИЗВЕСТКОВОГО ВЯЖУЩЕГО,
МОДИФИЦИРОВАННОГО ДОБАВКАМИ И
НАПОЛНИТЕЛЯМИ**

**Шинкевич Е.С.¹, д.т.н., проф., Мироненко И.Н.², к.т.н., доц.,
Тымняк А.Б.¹, асс., Линник Д.С.¹, н.с., Юсипчук В.И.¹**

¹*Одесская государственная академия строительства и архитектуры*

²*Одесский национальный морской университет, Украина*

На сегодняшний день наибольшую популярность приобретают так называемые «теплые дома» и «эко-дома». Одним из материалов для строительства данного типа домов является арболит. Характеристики арболита отвечают технологическим и строительным требованиям.

Арболит - строительный материал, разновидность лёгкого бетона. Изготавливается из смеси органических заполнителей, вяжущего и воды. Именно щепка дает арболиту уникальные звуко- и теплоизоляционные свойства, также она увеличивает прочность арболита, повышая огнестойкость и биостойкость. Из арболита изготавливают стеновые блоки, панели, плиты для возведения малоэтажных жилых, общественных и промышленных зданий, также применяют для малоэтажного монолитного домостроения [1, 2]. Существенное преимущество этого строительного материала состоит в том, что в его составе используют отходы деревоперерабатывающей промышленности: до 80-90% арболитового блока составляет древесная щепа нормированных размеров. В прошлом столетии было построено сотни арболитовых заводов, которые в настоящее время незаслуженно заброшены и разрушены. Разнообразием арболита является костробетон на основе промышленной конопляной щепы.

Объект исследования: матричный материал для костробетона на основе известкового вяжущего, модифицированного неорганическими добавками и наполнителями в виде высокоактивного метаксаолина и белой сажи.

Предмет исследования: экспериментально-статистические (ЭС) зависимости влияния добавок и наполнителей в виде метаксаолина и сажи на физико-механические свойства вяжущего для костробетона.

Цель исследования: подбор состава матричного материала для кострбетона, модифицированного добавками и наполнителями.

Для достижения данной цели решались следующие задачи: проанализировать влияние добавок и наполнителей на прочностные свойства композиционного известесодержащего вяжущего; проанализировать влияние добавок и наполнителей на водостойкость композиционного известесодержащего вяжущего; рекомендовать оптимальные составы матричного материала для кострбетона.

В исследовании применялись следующие материалы: в качестве вяжущего использовалась гашеная известь ВП-1, с содержанием $\text{Ca}(\text{OH})_2$ – 92,8 %; в качестве активных наполнителей использовались сажа белая марки БС120 (массовая доля SiO_2 – 86%), метакаолин (массовая доля Al_2O_3 – 43%, массовая доля SiO_2 – 53%). Как добавка, регулирующая пластичность – двуводный гипс. Также применялось жидкое стекло, обладающее антибактериальными свойствами и препятствующее образованию грибка и плесени. Сульфат алюминия (сернокислый алюминий) – гидроизолятор, минерализатор и ускоритель твердения. Сульфат натрия – противоморозная добавка и ускоритель схватывания бетонной смеси.

Известковое вяжущее, модифицированное неорганическими добавками и наполнителями в виде высокоактивного метакаолина и белой сажи, было получено на основе представленных сырьевых материалов. Для этого были приготовлены и испытаны серии кубов кострбетона с гранями 15 см и образцов-балочек размером $4 \times 4 \times 16$ см.

Эксперимент поставлен по 24 точечному шести факторному плану, рассчитанному в программе COMPEX. Экспериментально-статистические модели такого плана графически интерпретируются в виде диаграмм «треугольники на квадрате». Оценивалась следующая группа критериев качества: физические свойства (плотность и коэффициент размягчения) и механические свойства (прочность при сжатии и при изгибе).

По результатам эксперимента были построены ЭС-модели. По моделям, представленным в виде диаграмм (рис. 1-4), проанализировано влияние минеральных наполнителей и добавок на прочностные свойства, плотность и водостойкость композиционного матричного материала на известковом вяжущем для кострбетона.

Изменение прочности при сжатии в 2-х дневном возрасте ($R_{сж}^2$) под влиянием наполнителей и добавок представлен на рис. 1а. В области исследуемого факторного пространства повышение содержания, как наполнителей, так и добавок, способствует росту прочности. В связи с тем, что одной из задач исследования является получение высокой

ранней прочности для того, чтобы обеспечить возможность более быстрого перемещения опалубки, можно рекомендовать использовать выбранные наполнители в максимальных количествах - БС 3% и метакаолин 40%. Прочности при сжатии $R_{сж}^2$ достигает значения 0.9 МПа, что почти в 2 раза превышает технологически необходимый показатель ($R_{сж}^2=0,5$ МПа).

Изменение прочности при сжатии на 28-е сутки ($R_{сж}^{28}$) под влиянием наполнителей и добавок представлен на рис. 1б. Максимальное увеличение прочности на 28 сутки твердения получено при максимальном содержании метакаолина (40%) и среднем значении белой сажи (1,5%). Дальнейшее увеличение содержания сажи до 3% способствует некоторому снижению прочности, кроме того, введет к удорожанию композиции. Введение гипса несколько снижает прочность, но способствует ее более быстрому набору в ранние сроки.

В составах, не содержащих гипса, максимум прочности, равный 1 МПа, получен при максимальной содержании D_2 (10%). В составах с гипсом (15%) максимальная прочность обеспечивается за счет добавки D_3 (10%), т.е. регулировать вид применяемой добавки можно за счет введения гипса.

Изменение прочности при изгибе ($R_{изг}$) под влиянием наполнителей и добавок представлен на рис. 2а. Для составов, в которых отсутствует добавка гипса, $R_{изг}$ изменяется от 0,05 до 0.35 МПа, т. е. под влиянием метакаолина и белой сажи $R_{изг}$ изменяется в 7 раз. При введении добавок, прочность увеличивается в 18 раз (до 0,42 МПа), т.е. влияние каждой из добавок в отдельности D_1 , D_2 или D_3 превышает действие минеральных наполнителей.

Изменение коэффициента размягчения (K_p) под влиянием наполнителей и добавок представлен на рис. 2б. Максимальное значение водостойкости ($K_p=0.9$) обеспечивается для составов с гипсом при содержании белой сажи (до 3%) и максимальном содержании метакаолина (40%), в составах без гипса введении химических добавок D_1 и D_2 , позволяет получить K_p более 0.8, но без данных химических добавок водостойкость данного вяжущего не может быть обеспечена.

Таким образом, влияние химических добавок и минеральных наполнителей, а также их соотношение является неоднозначным, что сказывается на кинетике твердения разных составов рис. 3. Выявленные закономерности предопределили необходимость проведение многокритериальной оптимизации [3].

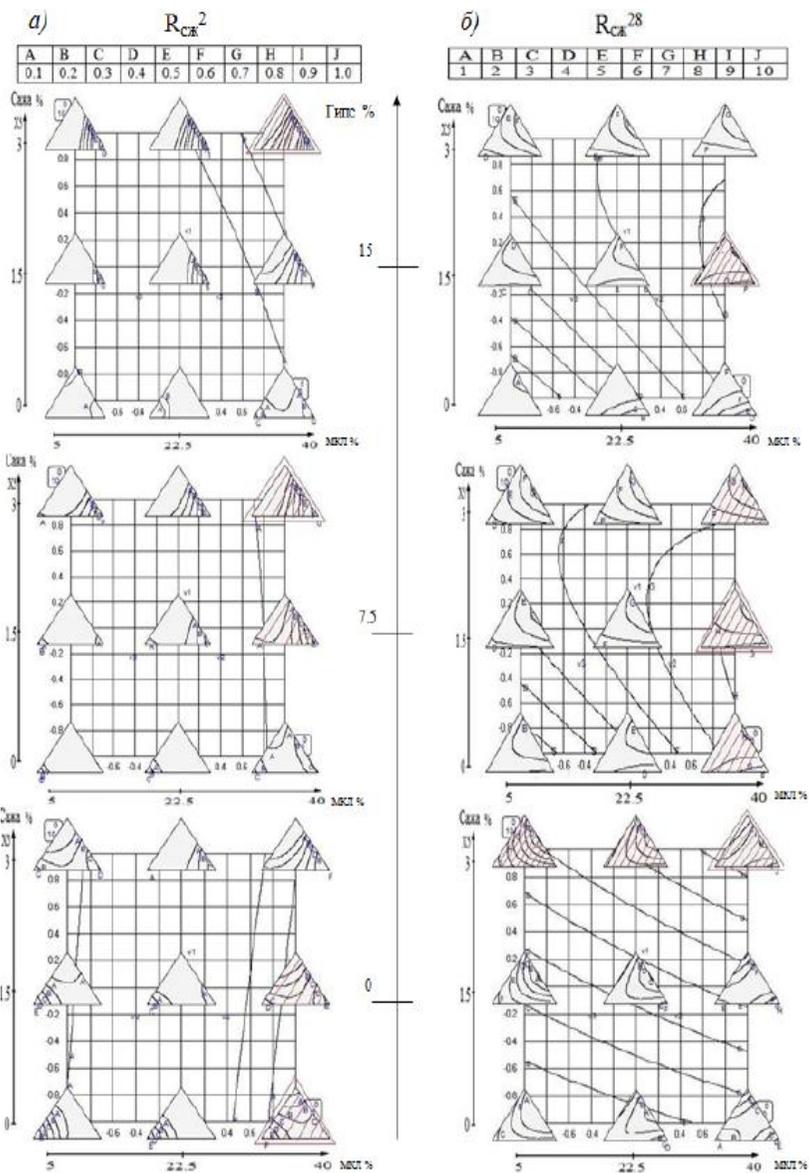


Рисунок 1. Влияние химических добавок и наполнителей на прочность при сжатии: *а)* в 2-х дневном возрасте ($R_{сж}^2$); *б)* на 28-е сутки ($R_{сж}^{28}$).

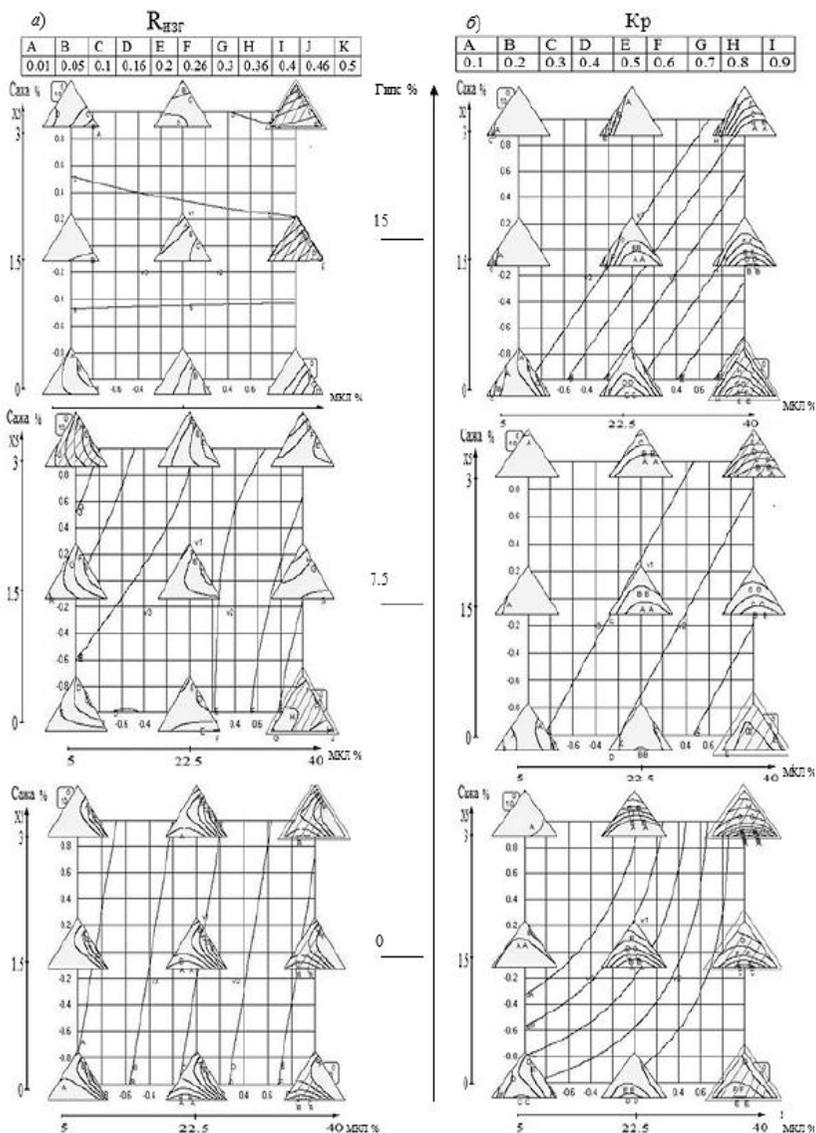
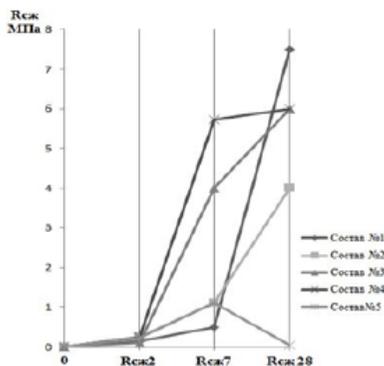
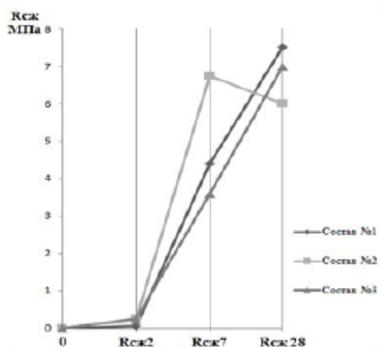


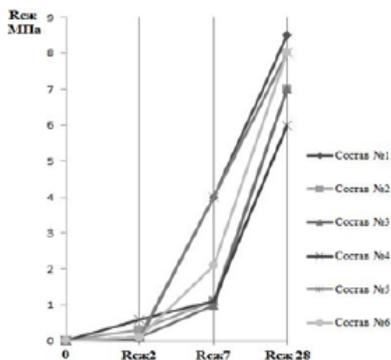
Рисунок 2. Влияние химических добавок и наполнителей на: а) прочность при изгибе ($R_{изг}$); б) коэффициент размягчения (K_p).



| № | Г | БС | МК | Д ₁ | Д ₂ | Д ₃ | R _{сж} ² | R _{сж} ⁷ | R _{сж} ²⁸ |
|---|---|-----|----|----------------|----------------|----------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| 1 | 0 | 1,5 | 40 | - | - | 10 | 0,15 | 0,5 | 7,5 |
| 2 | 0 | 0 | 40 | - | 10 | - | 0,25 | 1,1 | 4 |
| 3 | 0 | 0 | 40 | 10 | - | - | 0,1 | 4 | 6 |
| 4 | 0 | 0 | 40 | - | - | 10 | 0,25 | 5,72 | 6 |
| 5 | 0 | 3 | 40 | 10 | - | - | 0,22 | 1,1 | 0,05 |



| № | Г | БС | МК | Д ₁ | Д ₂ | Д ₃ | R _{сж} ² | R _{сж} ⁷ | R _{сж} ²⁸ |
|---|-----|----|----|----------------|----------------|----------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| 1 | 7,5 | 3 | 40 | 10 | - | - | 0,05 | 4,4 | 7,5 |
| 2 | 7,5 | 0 | 40 | - | 10 | - | 0,25 | 0,75 | 6 |
| 3 | 7,5 | 0 | 40 | - | - | 10 | 0,25 | 3,6 | 7 |



| № | Г | БС | МК | Д ₁ | Д ₂ | Д ₃ | R _{сж} ² | R _{сж} ⁷ | R _{сж} ²⁸ |
|---|----|-----|----|----------------|----------------|----------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| 1 | 15 | 0 | 40 | 10 | - | - | 0,05 | 4 | 8,5 |
| 2 | 15 | 0 | 40 | - | 10 | - | 0,3 | 1,1 | 7 |
| 3 | 15 | 3 | 40 | 10 | - | - | 0,1 | 1 | 7 |
| 4 | 15 | 3 | 40 | - | 10 | - | 0,6 | 1,1 | 6 |
| 5 | 15 | 1,5 | 40 | 10 | - | - | 0,1 | 4 | 8 |
| 6 | 15 | 1,5 | 40 | 10 | - | - | 0,1 | 2,10 | 8 |

Рисунок 3. Влияние химических добавок и наполнителей на кинетике твердения матричного материала для костробретона

Выводы

По результатам экспериментальных данных рассчитаны ЭС-модели, по которым построены диаграммы. По диаграммам проанализировано влияние минеральных наполнителей и добавок на прочностные свойства, плотность и водостойкость матричного материала для кстробетона на основе известкового вяжущего.

Рекомендованы составы, которые обеспечивают необходимые технологические условия: раннюю распалубочную и марочную прочность. Установлено, что увеличивая содержание метаксаолина от 5 до 40%, как ранняя, так и марочная прочность повышается в 9 раз, что связано с модификацией структуры, а именно, с ее уплотнением. Если говорить о влиянии белой сажи, то ее введение рационально при содержании гипса от 0 до 10%. В случае более высокого содержания гипса (10-15%) белая сажа не оказывает влияние на прочность, но при условии, что в составе без гипса будет содержаться 10% добавки Д1.

Установлено положительное влияние на водостойкость метаксаолина в присутствии какой-либо одной из трех исследуемых добавок. Водостойкость значительно больше 0.8 получена при 40% метаксаолина, независимо от содержания белой сажи на составах, содержащих Д1, Д2 или Д3. Без этих добавок водостойкость данного вяжущего не может быть обеспечена. Водостойкие составы матричного материала для кстробетона получены, как на составах без гипса, так и с гипсом (0-15%).

Сравнительный анализ влияния добавок и наполнителей на свойства показывает, что прочность бездобавочных составов незначительно повышается за счет введения химических добавок, но введение добавок очень важно для повышения водостойкости составов.

Summary

There was considered the possibility of regulating the binder for Hemptcrete due to additives and fillers.

1. Производство и применение арболита / под ред. С. М. Хасдана. – М.: Лесная промышленность, 1981. – 216 с.
2. Наназашвили, И. Х. Арболит эффективный строительный материал / И. Х. Наназашвили. – М., 1984. - 122 с.
3. Шинкевич Е.С. Оптимизация составов и свойств растворов на композиционном известосодержащем вяжущем / Е.С. Шинкевич, А.Б. Гымняк и др. // Материалы к международному семинару по моделированию и оптимизации композитов. – Одесса: Астропринт, 2014. – С. 106-108