

# ЭЛЕМЕНТЫ ПРАКТИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ОСНОВ МИНЕРАЛОГЕННОЙ ИНЖЕНЕРИИ ИЗВЕСТКОВОГО ВЯЖУЩЕГО

А.А. КУЧЕРЕНКО, доктор техн. наук, профессор, Албу-Хасан Ахмед Моуса АБДУЛХАДИ, аспирант, Ирак, Одесская государственная академия строительства и архитектуры, Украина

**Авторы статьи рассматривают процессы применения минералогенной инженерии, в частности мономинерального вяжущего, для получения новообразования, повышающего прочность и водостойкость бетона.**



Кучеренко Александр Антонович, количество научных работ: 240 статей, 13 авторских свидетельств, 1 патент



Абдулхадии Албу-Хасан Ахмед Моуса

Практическую реализацию основ минералогенной инженерии [1] целесообразнее рассматривать на более простом мономинеральном вяжущем. С учетом ряда нижеперечисленных соображений в исследованиях принято известковое вяжущее. Процесс гашения комовой извести водой сопровождается возникновением щелочной среды ( $\text{pH} \geq 12$ ), высокой температуры (до  $100^\circ\text{C}$  и выше) и тепловыделением ( $65,5 \text{ кДж/моль}$ ). Эти важные термодинамические характеристики можно назвать «отходом» производства, так как практически не используются как вторичные полезные ресурсы. Между тем щелочная среда способна электронейтральную частицу (молекулу, кристалл и др.) превратить в активную (электроразряженную, аморфную). Увеличение температуры – это и ускорение химических реакций в среде гашения комовой извести. А тепловыделение при гашении извести – это объемная тепловая обработка, вызывающая цепную реакцию реагирующих веществ, а не от поверхности вглубь и длительно во времени, как при обычной тепловой обработке изделий. Умение управлять этими процессами – в идеале это значит воздушное вяжущее, на базе которых получают бетоны низких прочности и водостойкости, превратить в гидравлическое, более прочное и водостойкое.

Наша задача – внедрить в систему этих процессов вещество, изменяющее термодинами-

ческие характеристики системы, и получить новообразования, повышающие прочность и водостойкость бетона на известковом вяжущем. Такое вещество не обязательно должно быть активным, т.к. активна среда (щелочность, температура, тепло), в которую он внедряется и которая его активизирует. Главных два требования: вещество должно хорошо растворяться в воде, а водный раствор его – иметь достаточную однородность распределения, а его энергия межатомных связей должна быть больше энергии межатомных связей  $\text{CaO}$  ( $\text{Ca}-\text{O}$  около  $1062 \text{ кДж/моль}$ ) и  $\text{H}_2\text{O}$  ( $\text{H}-\text{O}$  около  $459 \text{ кДж/моль}$ ). Водным раствором выбранного вещества должны гасить комовую известь. Этим требованиям отвечает атом кремния с энергией связи  $\text{Si}-\text{O}$   $1861 \text{ кДж/моль}$ . Он широко распространен: кремнийорганические жидкости, водные растворы жидкого стекла, кремнефтористый натрий и др.

В работе в качестве модификатора воды принято натриевое жидкое стекло –  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ . Оно дает сильнощелочную среду [2] и подкисленный  $\text{SiO}_2$ :  $\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{H}_2\text{O} = 2\text{NaOH} + \text{SiO}_2$ . Его концентрация в воде изменяет степень ионизации (по данным электросопротивления) и  $\text{pH}$  среды (рис. 1а). Изменением его концентрации можно регулировать и скорость гашения извести (рис. 1б).

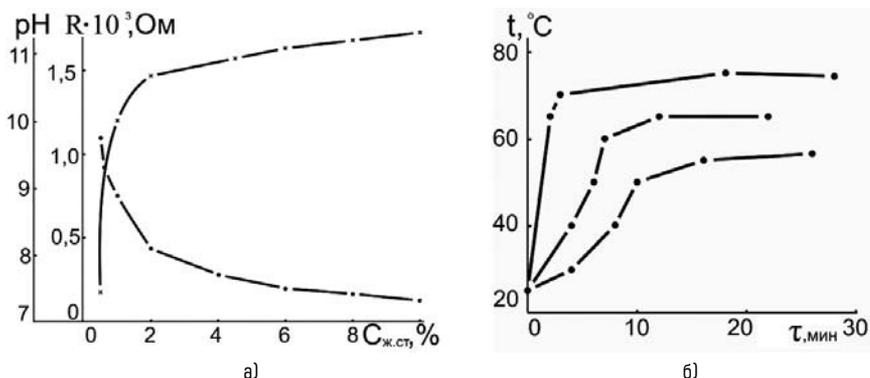


Рис. 1. Влияние концентрации водного раствора жидкого стекла на величины: а)  $\text{pH}$  среды (x) и ее электросопротивление (•); б) изменение скорости гидратации при гашении комовой извести водой (верхняя кривая), водным раствором концентрации 1% (средняя) и 3% (нижняя кривая)

В связи с этим изучена структура контрольного и исследуемого известкового камня, твердевших 4 месяца. Контрольные образцы изготовлены на базе известкового теста, полученного после гашения комовой извести водой. Исследуемые образцы в отличие от контрольных готовились с применением аналогичного теста, но полученного гашением комовой извести водным раствором жидкого стекла 6%-ной концентрации. Анализ достоинств и недостатков исследуемого материала сравнивали с аналогичными контрольных образцов. Рентгенофазовый анализ выполнен на дифрактометре рентгеновском ДРОН-4.0.

Качественный фазовый анализ проведен сравнением с табличными данными межплоскостных расстояний и их интенсивности, полученных при расшифровке дифрактограмм (рис. 2). Надежность идентификации фазы обеспечена совпадением на дифрактограммах не менее трех наиболее интенсивных ее линий. В исследованиях сняты дифрактограммы в интервале углов от 5 до 65°. Для анализа отобраны дифрактограммы с насыщенным количеством новообразований в диапазоне углов поворота 15-50°. Это позволило выявить вид и количество новообразований. В контрольных образцах возникли новообразования: портландит  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  и кальцит  $\text{CaCO}_3$  (рис. 2а). В исследуемых – добавочно возникает новое вещество – арагонит (рис. 2б).

Качественный и количественный составы новообразований в виде минералов приведены в табл. 1.

Таблица 1. Качественный и количественный состав новообразований известкового камня

Гашение извести	Вид и количество новообразований			
	Кальцит	Арагонит	Портландит	$\text{Ca}(\text{OH})_2$
водой	8	—	3	2
раствором	11	2	1	4

Здесь известковое вяжущее в виде  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  учтено как вещество, не вступившее в реакцию, а портландит, имеющий химическую формулу тоже в виде  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , но бруситовой структуры из плоских листов с плотной гексагональной упаковкой прочностью до 3,5 МПа [3] – как твердое вещество. Отличительный признак в том, что модификация воды жидким стеклом меняет это соотношение: при гашении водой возникает больше портландита, а водным раствором жидкого стекла – больше  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ .

Эффективность модификации воды для гашения извести заметна и по большому в 1,6 раза образованию количества кальцита. Однако знаковым надо признать то, что гашение комовой извести водным раствором жидкого стекла и последующее затворение ее водой позволили по-

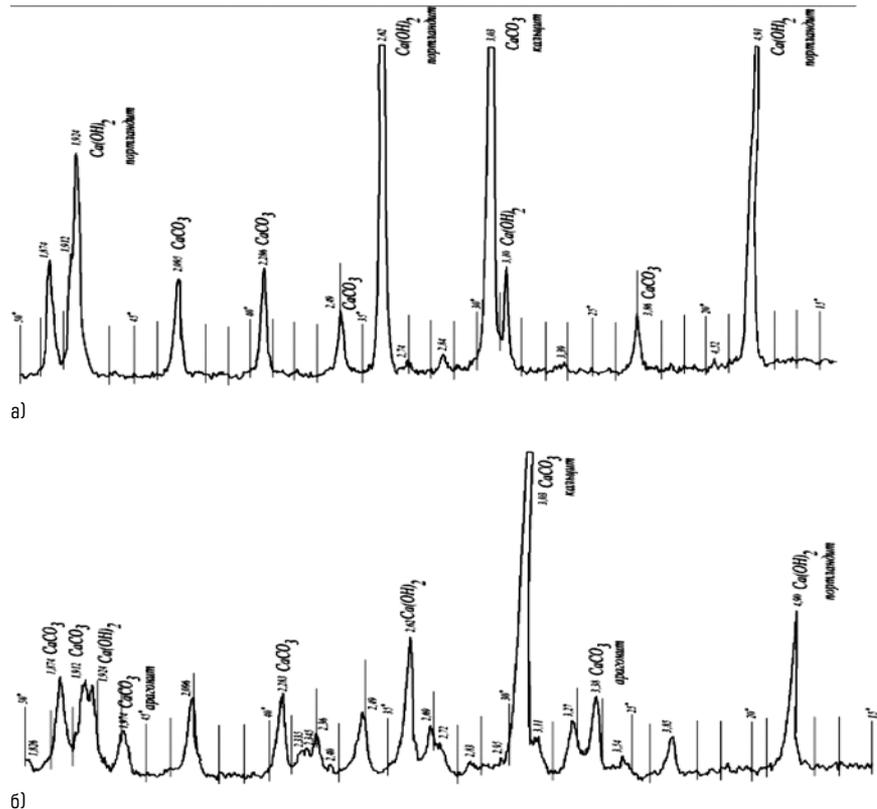


Рис. 2. Дифрактограммы новообразований камня, изготовленного на извести гашеной водой (а) и с водным раствором жидкого стекла (б)

лучить известковый камень, в составе которого возникло новое вещество – арагонит. По литературным данным [4] определена его характеристика и в сопоставлении с традиционным новообразованием – кальцитом – приведена в табл. 2.

Таблица 2. Отличительные характеристики новообразований известкового вяжущего

Свойства	Кальцит	Арагонит
Химическая формула	$\text{CaCO}_3$	$4[\text{CaCO}_3]$
Плотность, г/см <sup>3</sup>	2,71	2,95
Твердость	2,7-3,2	3,5-4,0
Структура кристаллическая	кубическая	ромбическая

В сравнении с кальцитом плотность арагонита больше на 9%, а твердость – на 25-30% [4]. Известно, что понижение пористости (т.е. повышение плотности) на 1% ведет к повышению прочности бетона на 5%. Если учесть важность этих цифр, то можно понять и актуальность работы, особенно в части управления этими процессами.

Количественно разница в атомарном содержании кристаллов кальцита и кристаллов арагонита вызывает соответствующие изменения и в энергетическом потенциале их межатомных связей. Химическая формула арагонита, включающая 4 кристалла  $\text{CaCO}_3$ , как единое сплошное тело имеет поверхностей раздела в 4 раза меньше сравнительно с суммой поверхностей раздела 4-х одиночных кристаллов кальцита. Это преимущество должно повысить прочность бетона, так как она определяется прочностью известково-

