

## ФОРМИРОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ИЗВЕСТКОВО-ИЗВЕСТНЯКОВЫХ КОМПОЗИЦИЙ КАРБОНИЗАЦИОННОГО ТИПА ТВЕРДЕНИЯ

Николай Любомирский, Александр Бахтин, Арсен Джелал

Национальная академия природоохранного и курортного строительства

**Аннотация.** Рассмотрен процесс искусственной карбонизации известковых вяжущих, выявлены особенности химической реакции карбонизации гидроксида кальция при повышенных концентрациях углекислого газа и графически представлен механизм карбонизации известкового теста. установлена степень влияния вида известняка на формирование прочностных показателей материала на основе извести, твердеющего по карбонизационному типу в искусственно созданной среде повышенной концентрации углекислого газа.

**Ключевые слова:** строительные материалы, известь, углекислый газ, карбонизационное твердение, гидрокарбонат кальция, карбонат кальция, известняк, прочность на сжатие.

### ВВЕДЕНИЕ

Известно, что известь – это вяжущее вещество, твердеющее по смешанному типу [1]. При твердении гашеной извести коагуляционное твердение перемежается с кристаллизацией  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  вследствие испарения воды затворения. Позже в процессе твердения принимают участие и карбонизация – превращение  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  в  $\text{CaCO}_3$ . В результате реакции карбонизации изменяется микро- и макроструктура строительного раствора, улучшаются его механические свойства и долговечность. Насыщение углекислотой в растворах извести происходит, когда  $\text{CO}_2$  в воздухе распространяется через открытые поры раствора, распадается внутри капиллярной поры воды, и реагирует с растворенным гидроксидом кальция. Это приводит к осаждению кристаллов карбоната кальция, выделению воды и тепла. Этот полный процесс выглядит следующим образом:



Образование карбоната кальция происходит в несколько этапов. Сначала происходит растворение гидроксида кальция, которое сопровождается выделением ионов  $\text{Ca}^{2+}$  и освобождением капиллярных пор от воды. В это же время углекислый газ диффундирует в виде раствора в открытые поры. При этом происходит его адсорбция, растворение и превращение в гидратную форму угольной кислоты ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ), под действием которой в системе образуется бикарбонат ионы ( $\text{HCO}_3^-$ ) и карбонат ионы ( $\text{CO}_3^{2-}$ ). В конечном счете, реакция между ионами  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{CO}_3^{2-}$  приводит к осаждению кристаллов карбоната кальция, путем образования ядра и последующего кристаллического роста.

### ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ

Целью настоящей статьи является установить влияние известнякового наполнителя и его вида на

формирование механических свойств искусственного карбонатного камня, получаемого на основе известкового вяжущего, твердеющего в среде повышенных концентраций углекислого газа. Поставленная цель была реализована решением следующих задач:

- выявлены особенности химической реакции карбонизации гидроксида кальция при повышенных концентрациях углекислого газа и графически представлен механизм карбонизации известкового теста;
- путем исследования изменения прочности на сжатие спрессованных известняков различного происхождения после обработки их углекислым газом установлена степень влияния вида известняка на формирование прочностных показателей материала на основе извести, твердеющего по карбонизационному типу в искусственно созданной среде повышенной концентрации углекислого газа.

### АНАЛИЗ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

Карбонизация гидроксида кальция в естественных атмосферных условиях протекает десятилетия, главным образом, из-за низкого содержания в воздухе углекислого газа (~0,03 %). Интерес к процессу ускоренной карбонизации известкового вяжущего и получения на его основе карбонатного камня возник еще в начале XX века и активно прорабатывался в середине прошлого столетия [2 – 8]. В основном научные исследования были направлены на решение проблемы, как предотвратить активную карбонизацию свободного гидроксида кальция в бетоне, вызывающую карбонизационную усадку, и повысить долговечность строительных конструкций [9 – 12]. В начале XXI века наблюдается интерес к вопросу получения искусственного камня на основе извести карбонизационного твердения [13 – 17]. В первую очередь [18], исследователей и производителей строительных изделий привлекает дешевизна

получения известкового вяжущего и широта сырьевой базы для ее производства, а также экологическая привлекательность изделий на основе известки и возможность утилизации углекислого газа, загрязняющего атмосферный воздух, и вызывающего парниковый эффект. С 2006 года каждые два года проводится Международная конференция по ускоренной карбонизации для окружающей среды и материаловедения (International Conference on Accelerated Carbonation for Environmental and Materials Engineering – ACSEMA). Работы и доклады, в основном, посвящены теоретическим и прикладным исследованиям искусственной карбонизации известки, превращения гидроксида кальция в карбонат кальция, оценке условий применения карбонизации в технологиях улавливания и использования углекислого газа.

Исследования процесса искусственной карбонизации систем, содержащих известку, которые были проведены в Национальной академии природоохранного и курортного строительства [17, 19 – 21], позволили установить химические, физико-химические особенности карбонизации известковых вяжущих веществ, оптимизировать технологические параметры искусственной карбонизации известки и на основании этого разработать ресурсосберегающую технологию производства карбонизированных стеновых изделий на основе известки и вторичного карбонатного сырья. Теоретическими и практическими исследованиями было однозначно установлено, что по мере проникновения углекислого газа внутрь образцов по порам и капиллярам, прежде чем образуется нерастворимая соль карбонат кальция, неизменно образуется углекислая соль – гидрокарбонат кальция. Вопрос перехода гидрокарбоната кальция в карбонат является одним из определяющих при изучении процесса образования вторичного карбоната кальция и получения на его основе прочного искусственного карбонатного камня.

#### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Для исследования и представления механизма карбонизации известкового теста была использована известная форма представления гетерофазного химического процесса [22].

Установление влияния гидрокарбоната кальция на прочность материала проводилось путем изготовления методом полусухого прессования образцов-цилиндров Ø 30 мм из молотых крымских известняков: мраморовидного ОАО «Карьер «Мраморный» с. Мраморное (Симферопольского р-на, АРК), нуммулитового Бахчисарайского месторождения и желтого известняка-ракушечника Евпаторийского месторождения. Химический состав известняков представлен в табл. 1. Удельная поверхность известняка составляла около 3000 см<sup>2</sup>/г.

При формировании опытных образцов усилие давления прессования и водосодержание смеси подбирали таким образом, чтобы получить образцы, обладающие достаточной прочностью, чтобы с ними работать (не крошились бы при переноске и т.п.). Удельное давление прессования составляло 30 МПа, водосодержание сырьевой смеси варьировали в пределах 5 – 15 % мас. После формирования образцы устанавливались в карбонизационную камеру [23], в которую подавали 100 % углекислый газ. После обработки углекислым газом (карбонизации) образцы подсушивались и испытывались на гидравлическом прессе для определения прочности на сжатие.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

Представим процесс искусственной карбонизации графически. На рис. 1 показан структурный элемент известкового теста до введения в систему углекислого газа и начала взаимодействия с ним.

Известковое тесто представлено в виде двухфазной среды, каждая из фаз, как принято в механике насыщенных пористых сред, считается равномерно распределенной по объему. С момента подачи углекислого газа начинается процесс карбонизации. Процесс образования вторичного карбоната кальция в результате искусственной карбонизации известкового теста условно можно разделить на три этапа (рис. 2). На первом этапе (см. рис. 2 а) в результате диссоциации  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  и углекислой кислоты образуется карбонат кальция, который образуется на поверхности контакта жидкой и твердой фаз, и осажается в виде карбонатного слоя на поверхности зерен известки.

При наличии в системе  $\text{CO}_2$  новообразованный  $\text{CaCO}_3$  растворяется и переходит в гидрокарбонат кальция (см. рис. 2 б). В присутствии в растворе жидкой фазы ионов  $\text{CaOH}^+$  и гидрокарбоната кальция, который диссоциирует на  $\text{CaHCO}_3^+$  и  $\text{HCO}_3^-$ ; известка переходит в карбонат кальция по уравнению (1), который, в свою очередь, уплотняет карбонизированный слой на поверхности зерен  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Из-за блокирования зерен известки слоем карбоната кальция эта реакция протекает в малых количествах и, как было сказано, с увеличением содержания  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  практически прекращается. Дальнейшее образование  $\text{CaCO}_3$  происходит в жидкой фазе из гидрокарбоната кальция при взаимодействии  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  и  $\text{H}_2\text{CO}_3$ . Превращение гид-

Таблица 1. Химический состав известняков  
Table 1. Chemical composition of lime stones

Вид известняка	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	п.п.п.
Мраморовидный	1,9	0,68	1,57	48,08	2,54	0,67	43,8
Нуммулитовый	9,87	0,65	0,92	48,35	0,47	-	38,9
Известняк-ракушечник	7,88	1,2	1,83	49,17	0,15	0,14	39,5

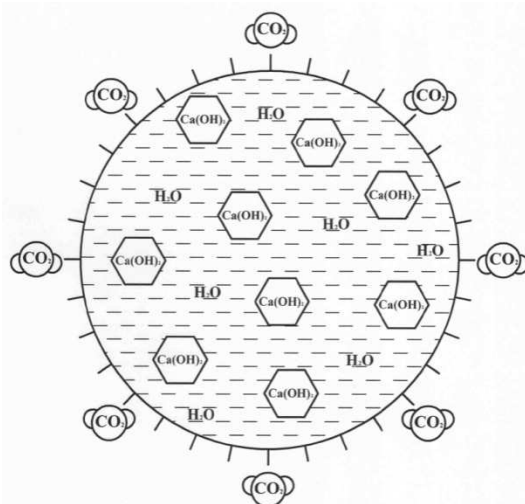


Рис. 1. Структурный элемент известкового теста до взаимодействия с углекислым газом  
Fig. 1. Structural element of lime putty to interaction with carbon dioxide

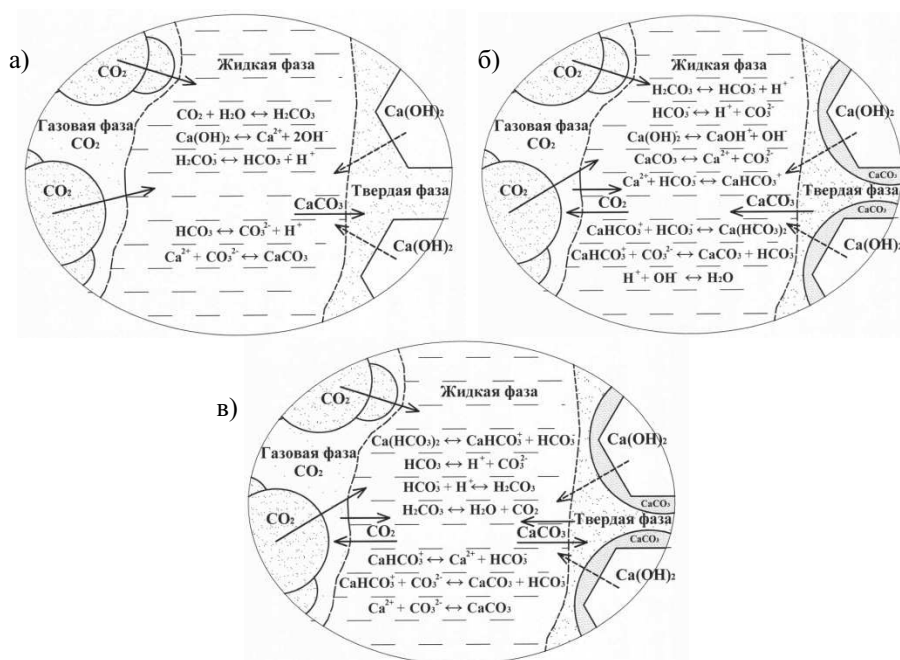


Рис. 2. Механизм образования вторичного карбоната кальция в системе «Ca(OH)<sub>2</sub> – H<sub>2</sub>O – CO<sub>2</sub>»: а) стадия образования карбоната кальция; б) стадия растворения CaCO<sub>3</sub> и образование в системе Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>; в) стадия превращения Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> в CaCO<sub>3</sub>

Fig. 2. The mechanism of the formation of the secondary calcium carbonate in the system of «Ca(OH)<sub>2</sub> – H<sub>2</sub>O – CO<sub>2</sub>»: а) the stage of formation of calcium carbonate; б) the stage of dissolution of CaCO<sub>3</sub> and education in the system of Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>; в) the stage of transformation of Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> in CaCO<sub>3</sub>

рокарбоната кальция в карбонат является типичным представителем гомогенного гетерофазного процесса [24]. Механизм превращения гидрокарбоната в карбонат из водного раствора представлен следующим образом (см. рис. 2 в). Зона нарушения состояния динамического равновесия системы обратимых химических реакций в растворе за счет необратимой массопередачи  $\text{CO}_2$  из жидкой фазы в газовую является зона вблизи от поверхности контакта жидкой и все время обновляемой газовой фазы. Это и есть зона протекания рассматриваемого химического превращения, лимитирующей стадией которого является массопередача реакционного  $\text{CO}_2$  из жидкой фазы в газовую.

Стадия образования карбоната кальция, обусловленная массопередачей  $\text{CaCO}_3$  из жидкой фазы в твердую фазу, оказывает определенное воздействие на скорость процесса в целом, но лимитирующей стадией превращения гидрокарбоната кальция в карбонат она не является [22]. Таким образом, образование карбоната кальция в системе является не причиной превращения гидрокарбоната кальция в карбонат, а его следствием.

Из вышесказанного ясно, что гидрокарбонат кальция образуется в результате воздействия на карбонат кальция углекислого газа. В связи с этим заключением для установления влияния  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  на прочностные свойства изделий на основе извести карбонизационного твердения была проведена серия опытов на спрессованных образцах из различных видов крымских известняков: мраморовидного, нуммулитового известняков и известняка-

ракушечника. Исследуемые известняки, соответственно, на 91,88, 87,25 и 88,67 % мас. состоят из  $\text{CaCO}_3$  (см. табл. 1). Согласно вышеизложенным теоретическим выкладкам, при обработке углекислым газом в жидкой фазе опытных образцов будет образовываться углекислая соль – гидрокарбонат кальция.  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  может существовать только в растворенном состоянии, а при удалении (испарении) жидкости откладывается на поверхности в виде  $\text{CaCO}_3$  [18, 21]. Таким образом, кристаллы  $\text{CaCO}_3$ , новообразованные из  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ , должны откладываться на поверхности зерен мраморовидного известняка, увеличивая площадь контакта между зёрнами, и повышать, тем самым, прочность образцов.

В табл. 2 приведены результаты прочности на сжатие опытных известняковых образцов после выдерживание их в среде повышенной концентрации углекислого газа в течение 3 ч в зависимости от водосодержания сырьевой смеси.

Из данных табл. 2 видно, что прочность образцов из спрессованных известняков после выдерживания в среде углекислого газа изменяется в зависимости от вида известняка. У образцов из мраморовидного известняка она растет (на 33 – 56,4 % относительно прочности образцов-сырцов), а на нуммулитовом известняке и известняке-ракушечнике – снижается (на 12,5 – 25,0 %). Изменение прочности образцов зависит от начального содержание формовочных смесей. С увеличением водосодержания формовочной смеси прочность на сжатие всех образцов снижается.

Таблица 2. Прочность на сжатие опытных образцов в зависимости от водосодержания формовочной смеси (время обработки углекислым газом 3 ч)

Table 2. Compression strength of the experimental samples of dry compaction test samples depending on the initial water content in the mixture (the carbonation 3 h)

Начальное водосодержание смеси, % мас.	Вид известняка	Прочность на сжатие образцов, МПа		Прирост (+), снижение (-) прочности после карбонизации, %
		до обработки углекислым газом	после обработки углекислым газом	
5,0	Мраморовидный	3,44	5,38	+56,4
	Нуммулитовый	4,01	3,35	-16,5
	Известняк-ракушечник	2,64	2,31	-12,5
7,5	Мраморовидный	3,37	5,24	+55,5
	Нуммулитовый	4,58	3,77	-17,5
	Известняк-ракушечник	2,83	2,26	-20,0
10,0	Мраморовидный	3,25	5,00	+53,6
	Нуммулитовый	4,81	3,90	-18,9
	Известняк-ракушечник	2,64	2,03	-23,2
12,5	Мраморовидный	3,15	4,19	+33,0
	Нуммулитовый	3,77	2,83	-25,0
	Известняк-ракушечник	2,50	1,98	-20,8

У всех групп опытных образцов прочность с увеличением водосодержания сырьевой смеси снижается. Это явление можно объяснить следующим образом. С увеличением водосодержания в системе появляется некоторое количество свободной воды, т.е. воды, не адсорбированной на поверхности зерен известняка, и которая со временем удаляется из системы, просачиваясь по порам между зёрнами известняка. Гидрокарбонат кальция, образующийся в результате взаимодействия  $\text{CaCO}_3$  известняка и уголекислоты, может существовать только в водном растворе. Таким образом, часть образовавшегося  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  удаляется из образцов вместе со свободной водой и не участвует в склеивании зерен известняка карбонатным цементом, состоящим из новообразованного  $\text{CaCO}_3$ , возникающего при термическом разложении  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ . Снижение прочности на сжатие образцов из нуммулитового известняка и известняка-ракушечника связано с морфологией известняков. Мраморовидный известняк является продуктом метаморфизации известняков, это плотная перекристаллизованная порода с мелко- и тонкозернистой структурой, состоящая в основном из карбоната кальция. Нуммулитовый известняк и известняк-ракушечник представляют собой осадочные, неоднородные горные породы, состоящие из раковин или их обломков различной величины, сцементированные карбонатным цементом. Вопрос влияния  $\text{CO}_2$  на разложение карбоната кальция различных известняков еще предстоит более подробно и точно изучить методами электронной микроскопии и рентгенофазового анализа, но, судя по экспериментальным результатам табл. 2, определенно можно сказать, что уголекислота разрушает материал раковин, из которых состоят нуммулитовые известняки и известняки-ракушечники, или растворяет карбонатный цемент, скрепляющий эти раковины в единый конгломерат. У мраморовидных же известняков растворение  $\text{CaCO}_3$  происходит на поверхности частиц карбоната кальция, не разрушая самой структуры материала, и образующийся

гидрокарбонат кальция служит связующим веществом склеивающий зёрна известняка в единый монолит.

Для проверки влияния времени действия уголекислого газа на известняк была проведена серия опытов изменения прочности на сжатие образцов, изготовленных из сырьевой смеси мраморовидного известняка водосодержанием 10 % мас., на протяжении трех часов обработки их  $\text{CO}_2$ . Экспериментальные данные представлены в табл. 3, результаты графической обработки показаны на рис. 3.

Опытные данные, представленные в табл. 3 и рис. 3, показывают, что изменение прочности на сжатие с течением времени носит скачкообразный характер и снижается с увеличением продолжительности обработки образцов уголекислым газом: после карбонизации образцов в течение 0,25 ч прочность повышается на 84,6 %, а после 3,0 ч карбонизации превышение прочности в сравнении с прочностью образцов-сырцов составляет 53,6 %. Такой скачкообразный характер может быть объяснен тем, что в начальный период обработки мраморовидного известняка уголекислым газом в системе «известняк – вода – уголекислый газ» на поверхности частичек известняка образуется большое количество гидрокарбоната кальция, который покрывает всю поверхность зерен известняка и при переходе в карбонат кальция при нагревании склеивает зёрна известняка карбонатным гелем. С увеличением времени воздействия уголекислого газа новообразованный карбонат кальция растворяется и вместе с образующейся в результате химических реакций водой частично удаляется из системы. Из полученных данных можно сделать вывод, что процесс образования гидрокарбоната кальция в системе, состоящей из известняка, при обработке ее уголекислым газом быстрый, не растянут во времени и известняковый наполнитель в искусственно карбонизируемых составах является не инертной составляющей, а активным компонентом, участвующим в процессах твердения, структурообразования и формирования физико-механических свойств получаемого материала.

Таблица 3. Прочность на сжатие опытных образцов полусухого прессования из мраморовидного известняка в зависимости от времени обработки углекислым газом

Table 3. Compression strength of the experimental samples of half-dry pressing from the marble-like limestone depending on the time of processing carbon dioxide

№ п/п	Время обработки CO <sub>2</sub> , ч	Прочность на сжатие, МПа	Прирост прочности, %
1	0	3,25	0
2	0,25	5,99	84,1
3	0,5	5,66	73,9
4	1,0	5,00	53,6
5	1,5	5,28	62,3
6	2,0	4,95	52,2
7	2,5	5,19	59,4
8	3,0	5,00	53,6

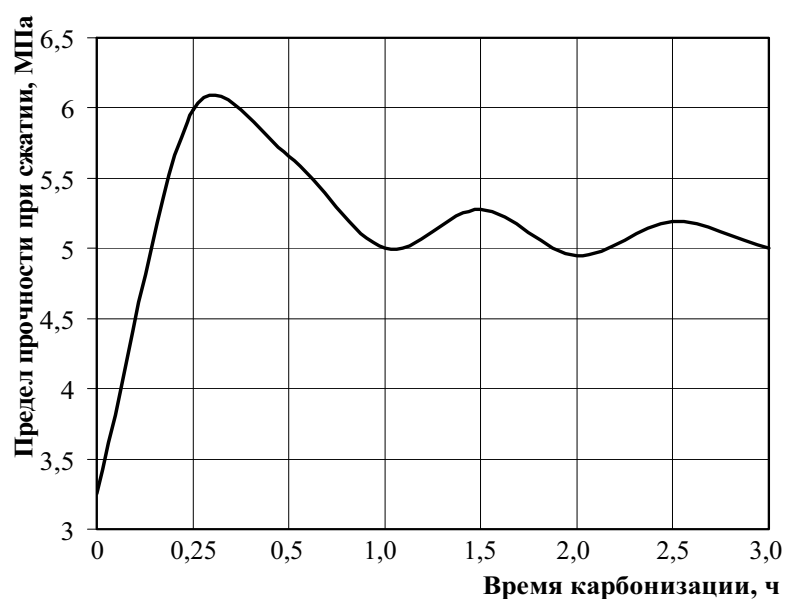


Рис. 4. Зависимость изменения прочности на сжатие опытных образцов из мраморовидного известняка от времени обработки их углекислым газом

Fig. 4. The dependence of the strength on compression of the experimental samples of marble-like limestone from time processing of their carbon dioxide

ВЫВОДЫ

1. Разработан и графически представлен механизм карбонизации известкового теста. Карбонизация известняковых вяжущих проходит в три этапа, во время протекания которых в системе «Ca(OH)<sub>2</sub> – H<sub>2</sub>O – CO<sub>2</sub>» неизменно возникает гидрокарбонат кальция Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, из которого образуется конечный продукт реакции карбонизации CaCO<sub>3</sub>, т.е., образование карбоната кальция в системе является не причиной превращения Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> в CaCO<sub>3</sub>, а его следствием.

2. Гидрокарбонат кальция, возникающий в системе «известь (известняк) – вода – углекислый газ», способствует повышению прочностных характеристик получаемого материала. Установлено, что известняковый наполнитель является компонентом активно участвующим в процессах формирования структуры и свойств материалов, твердеющих в среде CO<sub>2</sub>. Углекислота взаимодействует с CaCO<sub>3</sub> известняка, растворяет верхний слой его зерен и в системе образуется Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, который служит связующим веществом склеивающий зерна известняка с активной обнаженной поверхностью в единый монолит.

3. Выявлено влияние вида известнякового наполнителя в формировании физико-механических свойств композитов на основе извести карбонизационного типа твердения. Известняки органогенного происхождения (нуммулитовые, известняки-ракушечники) могут снижать прочностные свойства материала из-за агрессивного действия углекислоты на раковины, – материала составляющего основу данных видов известняков, – вызывающей коррозию последних или растворяет карбонатный цемент, скрепляющий эти раковины в единый конгломерат. Метаморфизированные известняки (мраморовидные) активно участвуют в структурообразовании карбонизационного твердения и способствуют получению прочного и однородного карбонаткальцевого конгломерата.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сычев М.М., 1970. Систематизация вяжущих веществ / Сычев М.М. // Журнал прикладной химии. – № 3. – 528 – 533.
2. Байков А.А., 1950. Труды в области общей и физической химии. Разложение природных углекислых солей при нагревании / Байков А.А. Собрание трудов. – М. – Л: изд. и 1-я тип. Изд-ва Акад. наук СССР в Лгр. – II т. – 565 – 575.
3. Зацепин К.С., 1952. Известковые карбонизированные строительные материалы / Зацепин К.С. // Сборн. материалов Московского науч.-технич. совещания по жил.-гражд. строит., строит. материалам и проектно-изыскат. работам. Т. 2. – М: Московская правда. – 283 – 290.
4. Matsuda O., 1973. Experimental study of the manufacture of building materials by carbonation of slaked lime / Matsuda O., Yamada H. // Sekko to sekkai = Gypsum & Lime. – № 125. – 8 – 17.
5. Aono T., 1931. Studies on the reactions between gas and solid, part II: absorption of CO<sub>2</sub> by CaO and Ca(OH)<sub>2</sub> / Aono T. // Bulletin of the Chemical Society of Japan. – № 6. – 319 – 324.
6. Михайлов Н.Н., 1960. Искусственная карбонизация как способ повышения активности доломитового вяжущего / Михайлов Н.Н., Кузнецов А.М. // Строительные материалы. – № 9. – 28 – 30.
7. Zalmanoff N., 1956. Carbonation of Lime Putties To Produce High Grade Building / N. Zalmanoff // Rock Products. – August. – 182 – 186.
8. Zalmanoff N., 1956. Carbonation of Lime Putties To Produce High Grade Building / N. Zalmanoff // Rock Products. – September. – 84 – 90.
9. Гершберг О.А., 1965. Технология бетонных и железобетонных изделий / Гершберг О.А. – М.: Стройиздат. – 327.
10. Алексеев С.Н., 1969. Кинетика карбонизации бетона / Алексеев С.Н., Розенталь Н.К. // Бетон и железобетон. – № 4. – 22 – 24.
11. Slaska-Grzywna B., 2008. Changes in mechanical properties and microstructure of root of celery after thermal treatment / Slaska-Grzywna B. // ТЕКА. Commission of motorization and power industry in agriculture. – Lublin. – Vol. X. – 355 – 362.
12. Воробьев А.А., 1971. Влияние карбонизации на физико-механические свойства автоклавного газобетона с тонкомолотыми карбонатными добавками / Воробьев А.А. // Строительные материалы. – №2. – 32 – 33.
13. Brouwer J.P., 2011. Mineral carbonation for CO<sub>2</sub> storage. [Электронный ресурс] / Brouwer J.P., Feron P.H.M. // First International Conference on Accelerated Carbonation. – <http://www.iscowa.org/>
14. Cizer O., 2011. Carbonation reaction of lime hydrate and hydraulic binders at 20°C. [Электронный ресурс] / Cizer O., K. Van Balen, D. Van Gemert // Forum italiano calce. – <http://www.iscowa.org/>
15. Cizer O., 2011. Crystal morphology of precipitated calcite crystallized calcite crystals from accelerated carbonation of lime binders. [Электронный ресурс] / Cizer O., K. Van Balen, D. Van Gemert // Forum italiano calce. – <http://www.iscowa.org/>
16. Cultrone G., 2005. Forced and natural carbonation of lime-based mortars with and without additives: Mineralogical and textural / Cultrone G., Sebastián E., Ortega Huertas M. // Cement and Concrete Research Volume 16. – Issue 12. – 278 – 289.
17. Любомирский Н.В., 2009. Формирование структуры известкового теста при твердении в среде углекислого газа / Любомирский Н.В., Локтионова Т.А. // Motrol. Motoryzacja I energetyka

rolnictwa. – Simferopol-Lublin. – Vol. 11A. – 239 – 246.

18. Saliev E., 2008. Ecological and economic problems of the introduction of power-saving technologies in Ukraine / Saliev E. // ТЕКА. Commission of motorization and power industry in agriculture. – Lublin. – Vol. X. – 333 – 339.

19. Любомирский Н.В., 2010. Термодинамическое обоснование искусственной карбонизации извести / Любомирский Н.В. // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – Одеса: Зовнішрекламсервіс. – вип. № 38. – 426 – 430.

20. Любомирский Н.В., 2010. Особенности карбонизации известковых вяжущих материалов / Любомирский Н.В. // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. – Макіївка: ДонНАБА. – Вип. 2010-5(85). – 121 – 126.

21. Lyubomirsky N., 2012. The resource saving technology for obtaining facing artificially carbonated products and economic efficiency of their production / [N. Lyubomirsky, T. Bakhtina, A. Bakhtin, D. Vorobiev, A. Jalyal] // Energy-saving and Ecological Materials, Installations and Technology in Construction. – Biala Podlaska: Wydawnictwo PSW JPII. – 115 – 122.

22. Иванов А.М., 1988. Кинетические аспекты и химические процессы химической технологии / Иванов А.М. – Тула: КПИ. – 100.

23. Любомирский Н.В., 2007. Автоматическая установка и методика изучения процесса карбонизации извести / [Любомирский Н.В., Федоркин С.И., Локтионова Т.А., Носатов В.Г.] // Строительство и техногенная безопасность. – Симферополь: НАПКС. – вып. 19-20. – 74 – 78.

24. Эммануэль Н.М., 1984. Курс химической кинетики / Эммануэль Н.М., Кнорре Д.Г. – М.: Высшая школа. – 463.

## THE ROLE OF LIMESTONE FILLER IN THE FORMATION OF THE STRENGTH CHARACTERISTICS OF LIMING MATERIALS CARBONATING HARDENING

**Abstract.** Considered the process of carbonation, lime binding, the peculiarities of the chemical reaction carbonization of calcium hydroxide with increased concentrations of carbon dioxide and graphically presented the mechanism carbonization of lime of the test. set the degree of influence of the type of limestone to the formation of the strength characteristics of the material on the basis of lime carbonating hardening in the artificially created environment of the increased concentration of carbon dioxide.

**Keywords:** building materials, lime, carbon dioxide, carbonating hardening, hydrocarbonate calcium, calcium carbonate, limestone, compressive strength.