

УДК: 666.9:691.32

## КАРБОНИЗАЦИЯ СЫРЬЕВОЙ СМЕСИ И СВЕЖЕОТФОРМОВАННЫХ ИЗДЕЛИЙ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ БЕТОННОЙ ВИБРОПРЕССОВАННОЙ ТРОТУАРНОЙ ПЛИТКИ

Бородин<sup>1</sup> С.С., Федоркин<sup>2</sup> С.И., Макарова<sup>3</sup> Е.С.

<sup>1</sup>ООО «Актив Групп»,  
297540, Республика Крым, Симферопольский р-н, с. Родниково, тер. Комплекс зданий и сооружений 1,  
e-mail: sborodin@ag-ru.com

<sup>2,3</sup>Институт «Академия строительства и Архитектуры», ФГАОУ ВО «ЖФУ им. В.И. Вернадского»  
адрес: 295493, г. Симферополь, ул. Киевская, 181,  
e-mail: kfu.fedorkin@mail.ru

**Аннотация:** В настоящей статье представлены результаты заводских испытаний по определению эффективности карбонизации сырьевой смеси и свежееотформованных изделий при производстве вибропрессованной тротуарной плитки. При карбонизации сырьевой смеси углекислый газ использован в качестве добавки в бетон в процентном отношении от массы вяжущего. Карбонизация свежееотформованных изделий производилась в среде газо-воздушной смеси с определенной концентрацией CO<sub>2</sub>. Определена кинетика набора прочности готовых изделий в течении 28 суток, а также показатели плотности и водопоглощения.

**Предмет исследования:** влияние карбонизации сырьевой смеси и свежееотформованных изделий на физико-механические свойства вибропрессованной тротуарной плитки.

**Материалы и методы:** жесткая бетонная смесь с использованием в качестве вяжущего шлакопортландцемента ЦЕМ II/A-Ш 42,5Н. Смесь приготовлена в промышленном планетарном смесителе объемом 1,1м<sup>3</sup>. Тротуарная плитка изготовлена на виброударном промышленном прессе с формовочным полем 1300\*900 и возмущающей силой 140кН. Подача необходимого количества CO<sub>2</sub> в смеситель и в камеру набора прочности количественно контролировалась с помощью наполных весов. Испытания на прочность при сжатии проведены в лаборатории предприятия с использованием прессы для бетона ИП-1500 по ГОСТ 28570-19. Водопоглощение образцов определено в соответствии с ГОСТ 12730.3-2020.

**Результаты:** в ходе производственных испытаний выявлен рост прочности вибропрессованных бетонных изделий, помещенных в свежееотформованном состоянии в камеру с углекислым газом. Прирост прочности в возрасте 28 суток по сравнению с образцом не прошедшем карбонизацию составил 15,6%. Максимальный эффект обнаружен при карбонизации сырьевой смеси и свежееотформованных изделий. В возрасте 28 суток прочность составила 36,5МПа, что на 20,9% выше чем в не карбонизированных изделиях.

**Выводы:** Углекислый газ в качестве добавки в сырьевую смесь проявил свойства добавки-ускорителя твердения бетона в возрасте до 3-х суток. Прирост прочности в 1-е сутки, в сравнении с не карбонизированными образцами, составил 21,8%. Использование CO<sub>2</sub> в качестве компонента газо-воздушной смеси в камере твердения обеспечило повышенный рост прочности изделий. Минимальный показатель по водопоглощению составил 4,7%, что на 27,7% меньше этого показателя у контрольных образцов. Совместное использование карбонизации бетонной смеси и свежееотформованного изделия приводит к увеличению итоговой прочности бетона в возрасте 28 суток с 30,2 МПа до 36,5 МПа, при стабильно растущей кинетике набора прочности.

**Ключевые слова:** углекислый газ, карбонизация бетонной смеси, карбонизация свежееотформованного изделия, кинетика набора прочности, бетонная смесь, тротуарная плитка.

### ВВЕДЕНИЕ

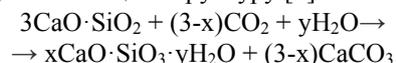
По данным многочисленных исследований, глобальное изменение климата на Земле связано с антропогенной деятельностью человека. С каждым десятилетием уровень концентрации углекислого газа в атмосфере увеличивается. Этот неконденсируемый парниковый газ ученые относят к самым сильным по воздействию на климат факторам. В связи с этим, актуальной проблемой является снижение выбросов углекислого газа в атмосферу [1]. Одним из эффективных путей утилизации выбросов углекислого газа может стать его использование в многотоннажном производстве строительных материалов, например, для карбонизации бетонных изделий.

### АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

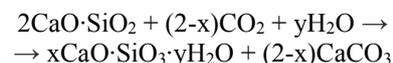
В последнее время появилось много исследований по использованию углекислого газа в производстве цементного бетона [2-4,7,10].

Уже сегодня существуют промышленные примеры эффективного использования углекислого газа в качестве добавки-ускорителя набора прочности при производстве товарного бетона, так называемая ускоренная (ранняя) карбонизация [2].

В результате гидратации клинкерных минералов в присутствии CO<sub>2</sub> образуются гидраты силиката кальция (C-S-H) и наноразмерный карбонат кальция CaCO<sub>3</sub>, уплотняющий структуру [5].



(1)



(2)

К этой же технологии относят выдержку готовых бетонных изделий в камерах насыщенных углекислым газом при определенной концентрации и давлении [4]. В работе [5] расчетно-теоретическими методами обоснован физико-химический процесс прочтения структуры бетона при карбонатном твердении. Исследовав карбонатное твердение образцов из бетонного лома, авторами установлено повышение прочности изделий в 2-3 раза по сравнению с гидратационным твердением.

В работе при исследовании режимов принудительной карбонизации известково-известняковых материалов показана эффективность умеренной подачи  $\text{CO}_2$  по сравнению с интенсивным способом карбонизации [6].

Исследование влияния предварительной гидратации перед началом карбонизации [3] показало что масса  $\text{CO}_2$ , поглощённого свежеотформованным изделием уменьшается с увеличением сроков предварительной гидратации. Поэтому на ранних стадиях твердения образцы имеют менее высокую прочность. Однако в возрасте 28 суток прочность изменяется. Так установлено, что образцы с предварительной гидратацией в течении 71 часа достигают прочности 21,5 МПа, а образцы без предварительной гидратации — всего 15,1 МПа [12, 13].

При исследовании свойств цементных растворов, карбонизированных углекислым газом, растворенным в воде, установлено, что их прочность в течение 1 суток на 6% выше, чем у не карбонизированных цементных паст. Эффективность карбонизации цементной суспензии, подтверждена исследованиями, результаты которых приведены в работе [11].

В статье [8] приведены данные по ускоренной карбонизации доломитной извести и доменных шлаков. Результаты по эксплуатации бетонов, в условиях повышенной влажности, изготовленных с применением ускоренной карбонизации, изложены в работе [10].

Значительный интерес исследователей к вопросам карбонизации строительных материалов и результаты полученные ими, свидетельствуют об эффективности использования углекислого газа для повышения физико-механических свойств изделий. На наш взгляд вопросы изучения процессов карбонизации при изготовлении мелкоштучных бетонных изделий в производственных условиях требуют дополнительных экспериментов.

## ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Целью работы является исследование влияния карбонизации сырьевой смеси и свежеотформованных изделий на физико-механические свойства вибропрессованной тротуарной плитки изготовленной в промышленных условиях.

Для достижения поставленной цели необходимо организовать производственный эксперимент по

выпуску вибропрессованной тротуарной плитки с раздельным и совместным применением карбонизации сырьевой смеси и свежеотформованных изделий, а также провести лабораторные испытания по определению физико-механических характеристик изделий.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве сырьевых материалов использовали шлакопортландцемент ЦЕМ П/А– Ш 42,5Н ООО “Бахчисарайский цементный завод”, щебень фракции 3-8 мм месторождения Пятихатки (Крым), песок Мкр=1,8 Зуйского месторождения (Крым), песок из отсевов дробления месторождения Пятихатки (Крым) Мкр = 2,9 и комплексная химическая добавка Мурансан БА – 19, В/Ц – 0,4.

Из указанных сырьевых компонентов для исследования изготавливали по экспериментальной заводской рецептуре тротуарную плитку формы Б2П6 класса В25 (рис 1) методом вибропрессования на действующем предприятии ООО “Актив Групп”.



Рис. 1. Тротуарная плитка Б2П6  
Fig. 1. Paving slabs B2P6

Добавление газообразной  $\text{CO}_2$  в бетонную смесь производилось на этапе приготовления смеси в планетарном смесителе. Подача газа осуществлялась по резиновому шлангу, который с одной стороны был закреплен в смотровом проеме смесителя (в верхней его части), а с другой стороны соединен непосредственно с редуктором стального баллона с  $\text{CO}_2$ . Выбранная дозировка газа – 0,6% от массы цемента. Контроль за массой углекислого газа, поступающей в смеситель проводился с помощью напольных весов, на которых был установлен баллон. Рабочее давление редуктора (до 0,6 МПа) позволило обеспечить подачу необходимого объема  $\text{CO}_2$  за время 90с.

Карбонизация тротуарной плитки осуществлялась в камере набора прочности в среде углекислого газа при его концентрации, составляющей 50% от объема камеры, т.е., без создания предварительного разрежения. Длительность подачи газа – 2 часа. Время начала подачи углекислого газа – 1 час после формовки. Контроль за концентрацией  $\text{CO}_2$  производился с помощью регулятора расхода на стальном баллоне с  $\text{CO}_2$ . Для дополнительного контроля за расходом газа баллон был установлен на напольные весы.

В основной камере твердения располагался 3-х этажный стеллаж консольного типа, позволяющий размещать на нем 3 технологических поддона со свежееотформованной плиткой по 30 шт в каждом ряду (рис2). После установки в него экспериментальных образцов стеллаж герметично упаковывали стрейч-пленкой в несколько слоев. При обмотке пленкой было предусмотрено пространство между стенками и поддонами для пропуска газа сверху-вниз. Объем замкнутого пространства составил ориентировочно 1,2м<sup>3</sup>. Подача газа осуществлялась по резиновому шлангу, закрепленному в верхней части стеллажа.



Рис. 2. Стеллаж консольного типа с размещенной на ней тротуарной плиткой

Fig. 2.A cantilever rack with paving slabs placed on it

Дополнительно изготовлена экспериментальная партия тротуарной плитки Б2П6 В-25 с сульфатостойким цементом в качестве вяжущего без карбонизации.

В табл.1 приведена расшифровка маркировки экспериментальных образцов.

Оценку эффективности использования ускоренной карбонизации осуществляли после определения по стандартным методикам прочности тротуарной плитки при сжатии  $R_{сж}$ , МПа в возрасте 1, 3, 7, 14, 28 суток, средней плотности  $\rho_0$ , г/см<sup>3</sup> и водопоглощению  $W_M$ , % в возрасте 28 суток. Итоговые значения указанных физико-механических характеристик получали путем усреднения трех результатов испытаний на каждый вид образца.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ АНАЛИЗ

Данные физико-механических характеристик всех образцов, полученных опытным путем сведены в табл.2. Аналитический анализ кинетики набора прочности образцов без карбонизации №№: 1, 6 и с карбонизацией №№: 2, 3, 4, 5 относительно контрольного образца КО в процентном отношении представлены в табл.3.

Таблица 1. Правила маркировки образцов

Table. 1.Rulesforlabelingsamples

Обозначение:	ШПЦ	20	40	0,6	50
Расшифровка:	вид цемента	температура в камере ТВО, °С	влажность в камере ТВО, %	массовая доля CO <sub>2</sub> от массы вяжущего, %	концентрация CO <sub>2</sub> в камере ТВО, %

Таблица2.Кинетика наборапрочности, плотность и водопоглощениеобразцов

Table.2. Kinetics of strength development, density, and water absorption of samples

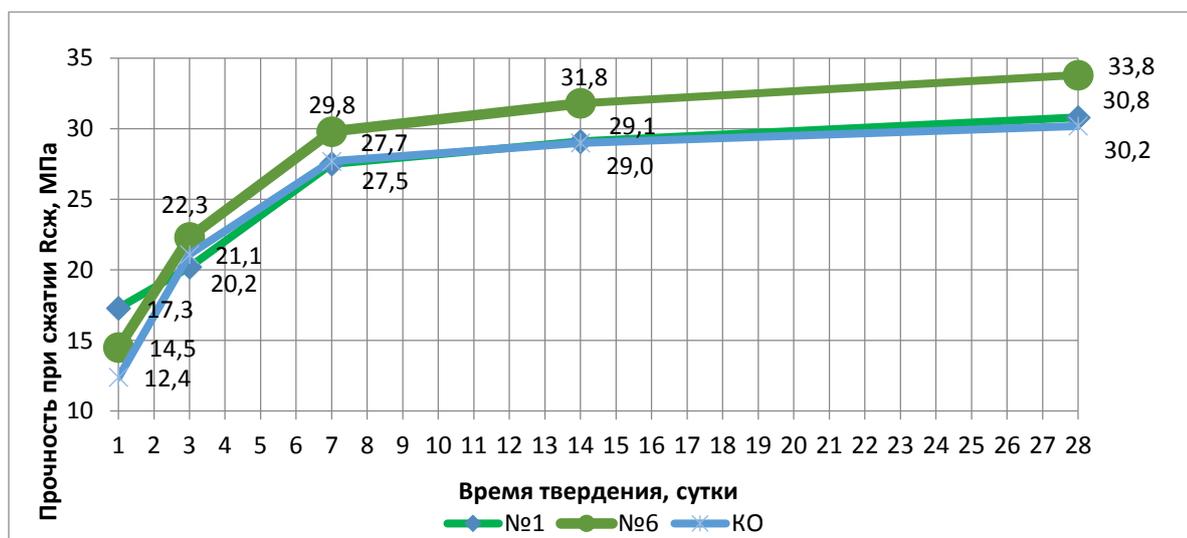
Физико-механические характеристики образцов полученные при испытаниях								
№п/п	Образец	Показатель	Ед.изм	1 сут	3 сут	7 сут	14 сут	28 сут
КО	ШПЦ-20-40-0-0	$R_{сж}$	МПа	12.4	21.1	27.7	29.0	30.2
		$\rho_0$	г/см <sup>3</sup>	2,203	2,212	2,227	2,204	2,209
		$W_M$	%	-	-	-	-	6.5
1	ШПЦ-40-60-0-0	$R_{сж}$	МПа	17.3	20.2	27.5	29.1	30.8
		$\rho_0$	г/см <sup>3</sup>	2,211	2,238	2,217	2,225	2,212
		$W_M$	%	-	-	-	-	5.9
2	ШПЦ-20-40-0,6-0	$R_{сж}$	МПа	15.1	22.6	24.8	27.2	29.7
		$\rho_0$	г/см <sup>3</sup>	2,211	2,216	2,204	2,214	2,201
		$W_M$	%	-	-	-	-	5.9
3	ШПЦ-20-40-0-50	$R_{сж}$	МПа	16.3	24.1	32.2	31.8	34.9
		$\rho_0$	г/см <sup>3</sup>	2,211	2,205	2,218	2,205	2,213
		$W_M$	%	-	-	-	-	4,7
4	ШПЦ-20-40-0,6-50	$R_{сж}$	МПа	17.6	25.1	26.4	29.8	31.9
		$\rho_0$	г/см <sup>3</sup>	2,229	2,233	2,220	2,247	2,245
		$W_M$	%	-	-	-	-	5,4
5	ШПЦ-20-40-0,6-50	$R_{сж}$	МПа	18.1	26.5	29.5	32.1	36.5
		$\rho_0$	г/см <sup>3</sup>	2,234	2,230	2,217	2,215	2,225
		$W_M$	%	-	-	-	-	4,8
6	СС-40-60-0-0	$R_{сж}$	МПа	14.5	22.3	29.8	31.8	33.8
		$\rho_0$	г/см <sup>3</sup>	2,221	2,229	2,227	2,224	2,235
		$W_M$	%	-	-	-	-	5.8

Среди не карбонизированных изделий максимальную прочность в возрасте 28 суток показал образец с сульфатостойким цементом (рис 3). Прирост прочности составил 11,9% по отношению к КО, достигнув 33,8МПа. Более высокая температура и влажность в камере ТВО обеспечили активную реакцию гидратации и большую прочность на протяжении всего времени твердения. При использовании шлакопортландцемента рекомендуемая температура изотермической выдержки составляет

60°C [13]. При увеличении температуры в камере с 20°C до 40°C и влажности с 40% до 60% образец №1 показал ускоренное твердение в 1-е сутки. Однако, после окончания выдержки в камере ТВО, кинетика набора прочности образца №1 на протяжении всего срока твердения практически не отличалась от образца КО. Следует, также, отметить улучшенные показатели водопоглощения у образцов №1 и №6 по отношению к КО.

**Таблица 3.** Набор прочности, относительно контрольного образца КО  
**Table.3.** Strength development relative to the control sample CS

Кинетика набора прочности относительно КО, %						
№ п/п	Образец	1 сут	3 сут	7 сут	14 сут	28 сут
1	ШПЦ-40-60-0-0	39.5	-4.3	-0.7	0.3	2.0
2	ШПЦ-20-40-0,6-0	21.8	7.1	-10.5	-6.2	-1.7
3	ШПЦ-20-40-0-50	31.5	14.2	16,2	9.7	15.6
4	ШПЦ-20-40-0,6-50	41.9	19.0	-4.7	2.8	5.6
5	ШПЦ-20-40-0,6-50	46.0	25.6	6.5	10.7	20.9
6	СС-40-60-0-0	16.9	5.7	7.6	9.7	11.9



**Рис. 3.** Кинетика набора прочности не карбонизированных образцов: КО, №1, №6  
**Fig. 3.** Kinetics of strength development of non-carbonated samples: CS, №1, №6

Образец №2 с карбонизацией бетонной смеси, единственный, набравший меньшую прочность, чем КО в возрасте 28 суток - 29,7 МПа. Разница составила 1,7% (рис.4). Однако стоит отметить меньшее водопоглощение на 0,6% и более активный процесс набора прочности в ранний срок твердения. Углекислый газ, введенный в бетонную смесь, проявил себя как ускоритель твердения в течении 3-х суток.

Все изделия, помещенные в герметичную камеру с углекислым газом отличаются более активным набором прочности практически весь период твердения (рис.5). Их прочность в возрасте 28 суток выше чем у КО: №3 – 34,9МПа (+15,6%), №4 – 31,9МПа (+5,6%), №5 – 36,5МПа (+20,9%). Положительный эффект от одновременной карбонизации смеси и свежееотформованного

изделия зафиксирован в образцах №4 и №5 в возрасте до 3-х суток. Однако у образца №4 уже к 7 суткам прочность падает, что объясняется снижением поглощения CO<sub>2</sub> из-за неравномерного распределения газа в герметичной камере. Через образцы №5 (3-й этаж) проходил весь поток CO<sub>2</sub>, поскольку точка ввода располагалась в верхней части камеры. Это объясняет более высокую прочность у изделий №5. Плотность углекислого газа в 1,5 раза больше чем у воздуха, поэтому весь газ, который не был поглощен образцами №4, 5 осел в самой нижней части. В результате– образец №3 без карбонизации смеси практически набрал такую же прочность, как и образец с карбонизацией смеси и свежееотформованного изделия в возрасте 28 суток.



Рис.4. Кинетика набора прочности карбонизированного образца №6

Fig. 4. Kinetics of strength development of carbonated sample No. 6

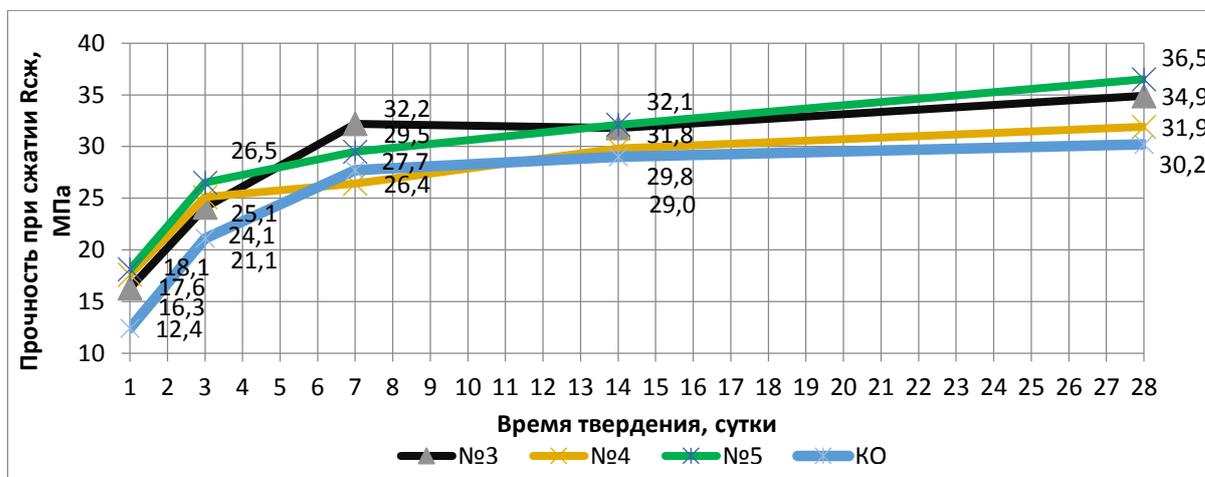


Рис. 5. Кинетика набора прочности образцов №№ 3, 4, 5, карбонизированных в камере с содержанием 50% CO2

Fig. 5. Kinetics of strength development of samples No. 3, 4, 5, carbonated in a chamber with 50% CO2 content

Лучшие показатели водопоглощения наблюдаются у образцов с карбонизацией свежееотформованных изделий, что объясняется образованием CaCO<sub>3</sub> в парах, выходящих на поверхность изделия.

## ВЫВОДЫ

1. Использование углекислого газа в качестве добавки в сырьевую смесь приводит к ускоренному набору прочности в ранние сроки твердения бетона (до 3х суток). При этом параметры ТВО в камерах набора прочности снижены по отношению к требуемым - температура с 60<sup>0</sup>С до 20<sup>0</sup>С и влажность с 90% до 40%. Использование CO<sub>2</sub> в качестве компонента газо-воздушной смеси в герметичной камере набора прочности готовой продукции, в первые 2 часа ТВО приводит к увеличению прочности бетона в возрасте 28 суток с 30,2 МПа до 36,5 МПа при стабильной кинетике набора прочности и снижению водопоглощения до 4,7%, что на 27,7% меньше показателя у КО.

2. Совместное использование карбонизации бетонной смеси и свежееотформованного изделия приводит к увеличению прочности бетона в возрасте 28 суток на 20,9% при стабильно повышенной кинетике набора прочности. Также

отмечается более активное созревание бетона в возрасте до 3-х суток, по сравнению с использованием лишь карбонизации смеси.

3. Оценивая производственный эксперимент, можно утверждать об эффективности совместного применения карбонизации сырьевой смеси и свежееотформованного изделия по сравнению с её раздельным использованием. Перспективным направлением дальнейших исследований является создание модели управления физико-механическими свойствами бетона в зависимости от параметров карбонизации сырьевой смеси в смесителе и свежееотформованного изделия в камере набора прочности.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Любомирский Н.В. Научно – технологические принципы утилизации углекислого газа в биопозитивные строительные материалы / Н.В. Любомирский, С.И. Федоркин // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. – 2016. - № 4 (16). – с. 39 – 49.
- Монкман С. Использование углекислого газа в качестве добавки-ускорителя / С. Монкман// Цемент и его применение. – 2017, №1. - С.32-42.

3. Berger R.L. Acceleration of hydration of calcium silicates by carbon-dioxide treatment // *Nature: Physical Sci.* – 1972, Vol. 240. - P. 16—18.

4. Рузавин А.А. Применение метода ускоренной карбонизации в технологии бетонного производства /А.А. Рузавин// Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2017. - №3. – С. 72–75.

5. Корчунов И.В. Использование бетонолома для производства мелкоштучных изделий карбонатного твердения /И.В. Корчунов // Цемент и его применение. – 2023. - №4. –С.26-35.

6. Любомирский Н.В. Исследование влияния режимов принудительного карбонатного твердения на свойства материалов на основе известково-известняковых композиций полусухого прессования /Н.В. Любомирский //Строительные материалы. -2017. -№8. - С. 7-12.

7. Lippiatt N. Combining hydration and carbonation of cement using super-saturated aqueous CO<sub>2</sub> solution // *Construction and Building Materials.* -2019, Vol. 229. - P. 11-25.

8. Бахтина Т.А. Получение строительных материалов на основе строительных материалов на основе доломитовой извести ускоренного твердения за счет принудительной карбонизации /Т.А. Бахтина// Вестник МГСУ. -2020. -№ 1. - С. 43-57.

9. Романенко И.И. Ускоренная карбонизация формовок из сталеплавильных шлаков с целью получения изделий строительного назначения /И.И. Романенко //Дневник науки. -2023. - № 10. –С. 15-21.

10. Гильмутдинов Т.З. Результаты исследований по ускоренной карбонизации бетона и цементного камня во влажных условиях эксплуатации /Т.З. Гильмутдинов //Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. -2016. -№ 1 (35). - С. 155-164.

11. Фу Х. Хранение CO<sub>2</sub> при укреплении бетона путем карбонизации его цемента в суспензии /Х. Фу // Коммуникационные материалы. -2024.- №5. – P. 109.

12. Федоров П.А. Особенности ускоренной карбонизации бетонов на основе щелочно-щелочноземельных вяжущих /П.А. Федоров // Строительные материалы. 2024. -№ 11. - С. 40–47.

13. Иванов А.В. Тротуарная плитка на основе композиционного шлако-цементного вяжущего: диссертация канд. техн. наук: 05.23.05 / Иванов Антон Владимирович - Белгород, 2011. - 151 с.

## REFERENCES

1. Lyubomirsky N.V. Scientific and technological principles of carbon dioxide utilization in biopositive building materials / N.V. Lyubomirsky, S.I. Fedorkin // *Biospheric compatibility: man, region, technology.* – 2016. - № 4 (16). – pp. 39-49.

2. Monkman S. The use of carbon dioxide as an accelerator additive / S. Monkman // *Cement and its application.* – 2017, No. 1. - pp.32-42.

3. Berger R.L. Acceleration of hydration of calcium silicates by carbon-dioxide treatment // *Nature: Physical Sci.* – 1972, Vol. 240. - P. 16-18.

4. Ruzavin A.A. Application of the accelerated carbonation method in concrete production technology / A.A. Ruzavin // *Bulletin of SUSU. The series "Construction and Architecture".* – 2017. - No. 3. – С. 72-75.

5. Korchunov I.V. The use of a concrete breaker for the production of small-piece products of carbonate hardening / I.V. Korchunov // *Cement and its application.* – 2023. - No. 4. –pp.26-35.

6. Lyubomirsky N.V. Investigation of the effect of forced carbonate hardening modes on the properties of materials based on lime-limestone compositions of semi-dry pressing / N.V. Lyubomirsky // *Building materials.* -2017. - No. 8. - pp. 7-12.

7. Lippiatt N. Combining hydration and carbonation of cement using super-saturated aqueous CO<sub>2</sub> solution // *Construction and Building Materials.* - 2019, Vol. 229. - P. 11-25.

8. Bakhtina T.A. Obtaining building materials based on dolomite lime-based accelerated hardening due to forced carbonation/ T.A. Bakhtina // *Bulletin of MGSU.* -2020. - No. 1. - pp. 43-57.

9. Romanenko I.I. Accelerated carbonation of molds from steelmaking slags in order to obtain construction products / I.I. Romanenko // *Diary of science.* -2023. - No. 10. –pp. 15-21.

10. Gilmudtinov T.Z. Research results on accelerated carbonation of concrete and cement stone in wet conditions / T.Z. Gilmudtinov // *Proceedings of the Kazan State University of Architecture and Civil Engineering.* -2016. - № 1 (35). - Pp. 155-164.

11. Fu X. CO<sub>2</sub> storage during concrete reinforcement by carbonization of its cement in suspension / X. Fu // *Communication Materials.* -2024.- No. 5. – P. 109.

12. Fedorov P.A. Features of accelerated carbonation of concretes based on alkaline-alkaline earth binders / P.A. Fedorov // *Building Materials.* 2024. - No. 11. - pp. 40-47.

13. Ivanov A.V. Paving slabs based on composite slag-cement binder: dissertation of Candidate of Technical Sciences: 05.23.05 / Ivanov Anton Vladimirovich - Belgorod, 2011. 151 p.

## CARBONATION OF THE RAW MATERIAL MIXTURE AND FRESHLY MOLDED PRODUCTS IN THE PRODUCTION OF CONCRETE VIBROPRESSED PAVING SLABS

Borodin<sup>1</sup> S.S., Fedorkin<sup>2</sup> S.I., Makarova<sup>3</sup> E.S.

<sup>1</sup>Aktiv Group LLC, 297540, Republic of Crimea, Simferopol district, Rodnikovo village, ter.  
Complex of buildings and structures 1,  
e-mail: sborodin@ag-ru.com

<sup>2,3</sup>V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Institute of Academy of Construction and Architecture,  
Address: 181 Kievskaya St., Simferopol, 295493,  
e-mail: kfu.fedorkin@mail.ru

**Annotation:** This article presents the results of factory tests to determine the effectiveness of carbonation of a raw mixture and freshly molded products in the production of vibropressed paving slabs. During carbonation of the raw material mixture, carbon dioxide is used as an additive to concrete as a percentage of the binder weight. The carbonation of freshly molded products was carried out in a gas-air mixture with a certain concentration of CO<sub>2</sub>. The kinetics of strength gain of finished products over the course of 28 days, as well as density and water absorption indicators, were determined.

**Subject of research:** the effect of carbonation of the raw material mixture and freshly molded products on the physical and mechanical properties of vibropressed paving slabs.

**Materials and methods:** rigid concrete mix using CEM II/A-Sh 42.5N slag-portland cement as a binder. The mixture is prepared in an industrial planetary mixer with a volume of 1.1 m<sup>3</sup>. Paving slabs are made on a vibro-impact industrial press with a molding field of 1300\*900 and a disturbing force of 140kN. The supply of the required amount of CO<sub>2</sub> to the mixer and to the strength-building chamber was quantitatively controlled using floor scales. Compressive strength tests were carried out in the laboratory of the enterprise using a concrete press IP-1500 according to GOST 28570-19. The water absorption of the samples was determined in accordance with GOST 12730.3-2020.

**Results:** during production tests, an increase in the strength of vibropressed concrete products placed in a freshly molded state in a carbon dioxide chamber was revealed. The increase in strength at the age of 28 days compared to the sample that had not undergone carbonation was 15.6%. The maximum effect was found during carbonation of the raw material mixture and freshly molded products. At the age of 28 days, the strength was 36.5 MPa, which is 20.9% higher than in non-carbonized products.

**Conclusions:** Carbon dioxide as an additive to the raw material mixture showed the properties of an accelerator additive for concrete hardening at the age of up to 3 days. The increase in strength on day 1, compared with non-carbonized samples, was 21.8%. The use of CO<sub>2</sub> as a component of the gas-air mixture in the hardening chamber provided an increased increase in the strength of the products. The minimum water absorption rate was 4.7%, which is 27.7% less than that of the control samples. The combined use of carbonation of a concrete mixture and a freshly molded product leads to an increase in the final strength of concrete at the age of 28 days from 30.2 MPa to 36.5 MPa, with a steadily increasing kinetics of strength gain.

**Key words:** carbon dioxide, carbonation of concrete mix, carbonation of freshly molded product, kinetics of strength gain, concrete mix, paving slabs.