

# **Разработка строительных материалов карбонатного типа твердения на основе вторичного сырья**

**А.С. Бахтин**, к.т.н., доцент; **Н.В. Любомирский**, д.т.н., профессор;  
**С.И. Федоркин**, д.т.н., профессор; **Т.А. Бахтина**, к.т.н., доцент.

**ФГАОУ ВО**  
**«Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского»**  
**АКАДЕМИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА и АРХИТЕКТУРЫ**

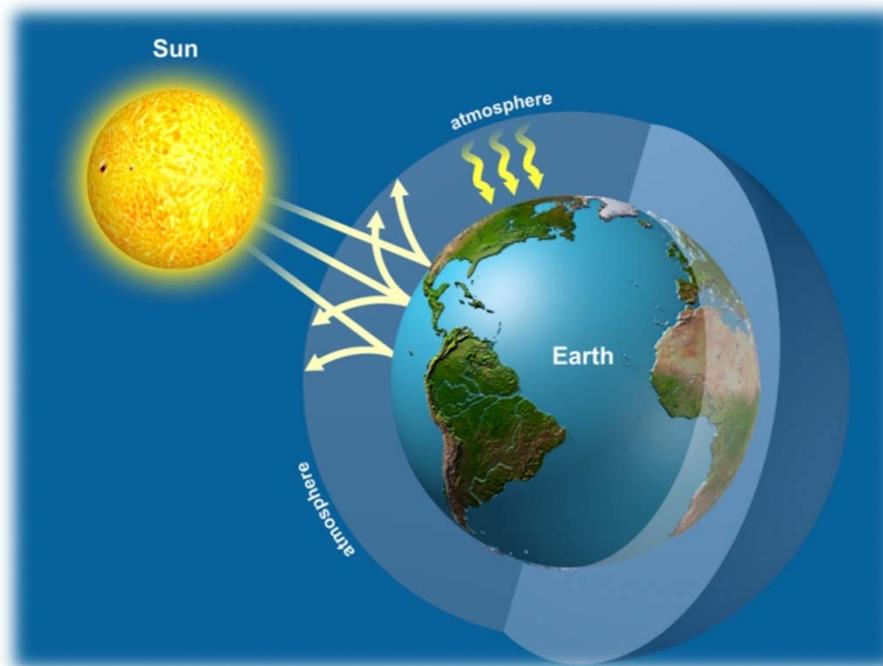
# Наиболее актуальные глобальные проблемы современности

- **Охрана окружающей среды**

- **Рациональное использование природных ресурсов**

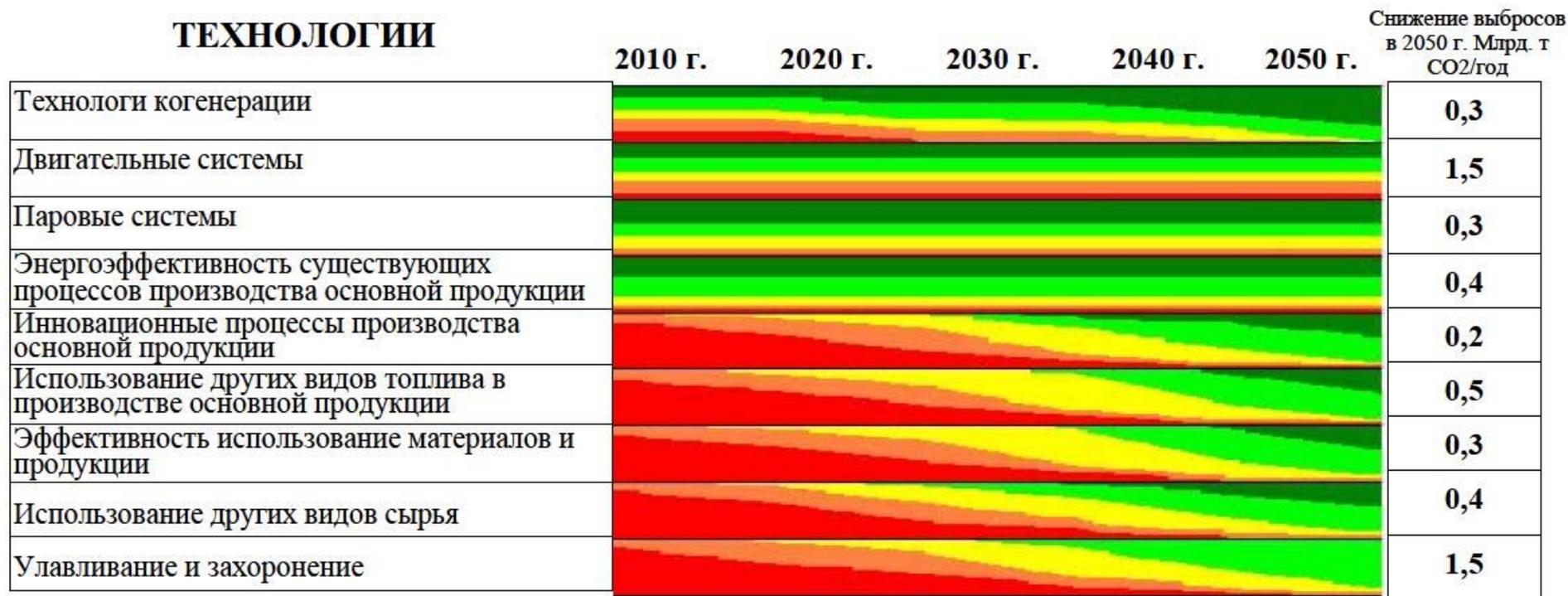


**Одной из важнейших мировых экологических задач является поиск средств, направленных на снижение парникового эффекта Земли, возникновение которого связано с увеличением техногенных выбросов парниковых газов (в особенности  $\text{CO}_2$ ) в атмосферу Земли**



По данным Международного энергетического агентства (МЭА) ежегодные выбросы углекислого газа за период 2013-2020 гг. составляют около 32-32,5 млрд. т.

# Мировой прогноз развития новых технологий, направленных на снижение выбросов парниковых газов



Стадия когда технология является конкурентоспособной без стимулирования выбросов CO<sub>2</sub>

Стадия когда технология является конкурентоспособной при условии стимулирования выбросов CO<sub>2</sub>

Правительственная поддержка внедрения

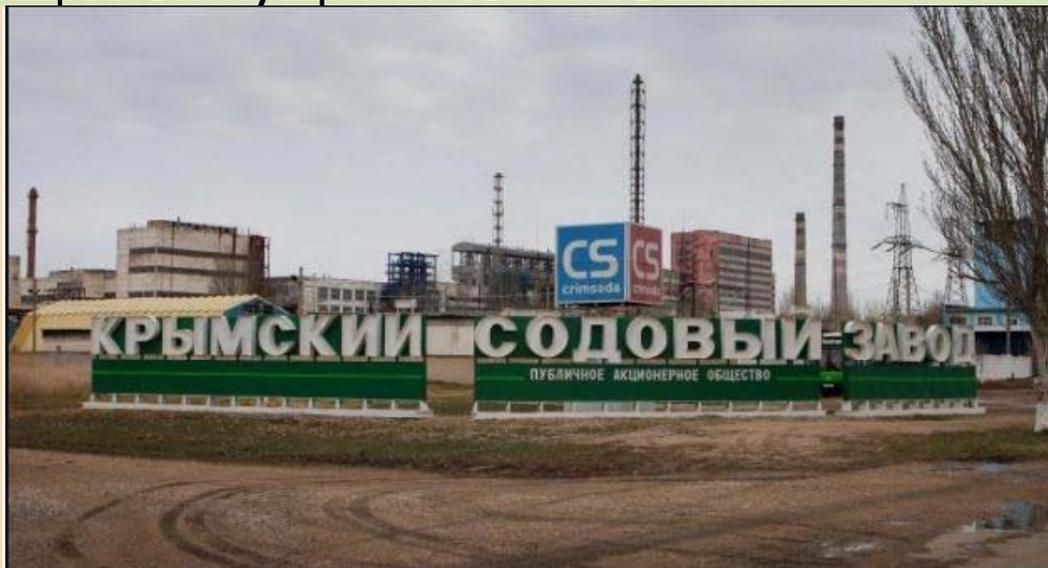
Стадия демонстрации

Стадия научно-исследовательских работ

Источник: Перспективы энергетических технологий. Стратегии и сценарии до 2050 г., МЭА, [www.iea.org](http://www.iea.org)

Одним из способов сокращения выбросов  $\text{CO}_2$  является его улавливание и связывание в стабильные нерастворимые соединения обладающие вяжущими свойствами.

К числу пригодного вторичного сырья способного связывать  $\text{CO}_2$  можно отнести определенный ряд попутных продуктов промышленных производств, в частности известковую пыль, механически осаждаемую в циклонах и рукавных фильтрах шахтных печей, обжигающих известняк для получения негашеной извести, а также мелкодисперсный известняк фракцией до 5 мм, образующийся в процессе дробления исходной горной породы на рабочую фракцию, направляемую в шахтную печь на обжиг

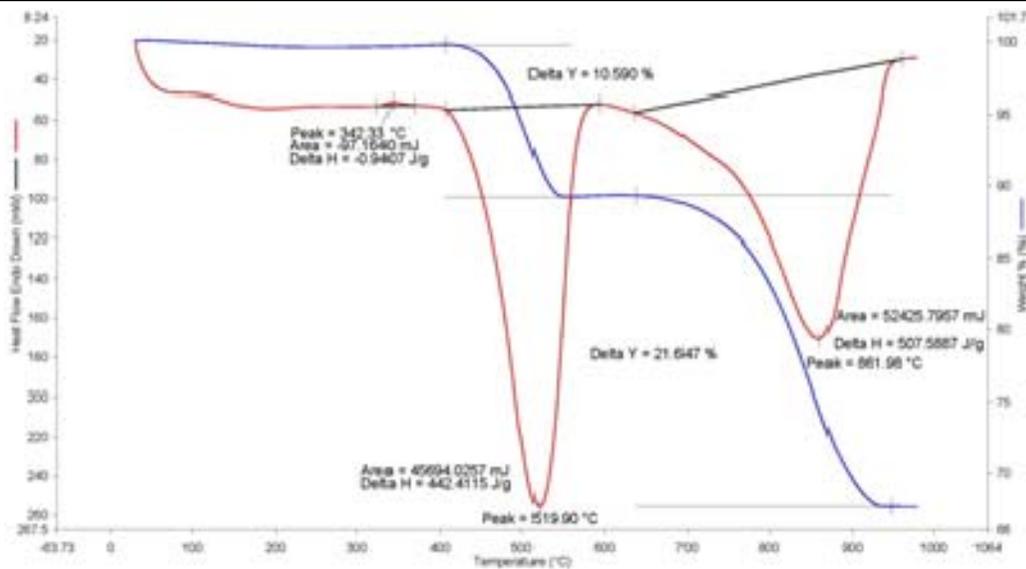


## **Цель исследований:**

**изучение возможности использования техногенного вторичного сырья, в частности известковой пыли и мелкодисперсных известняков, для организации производства определенной номенклатуры строительной продукции методом принудительной карбонизации.**

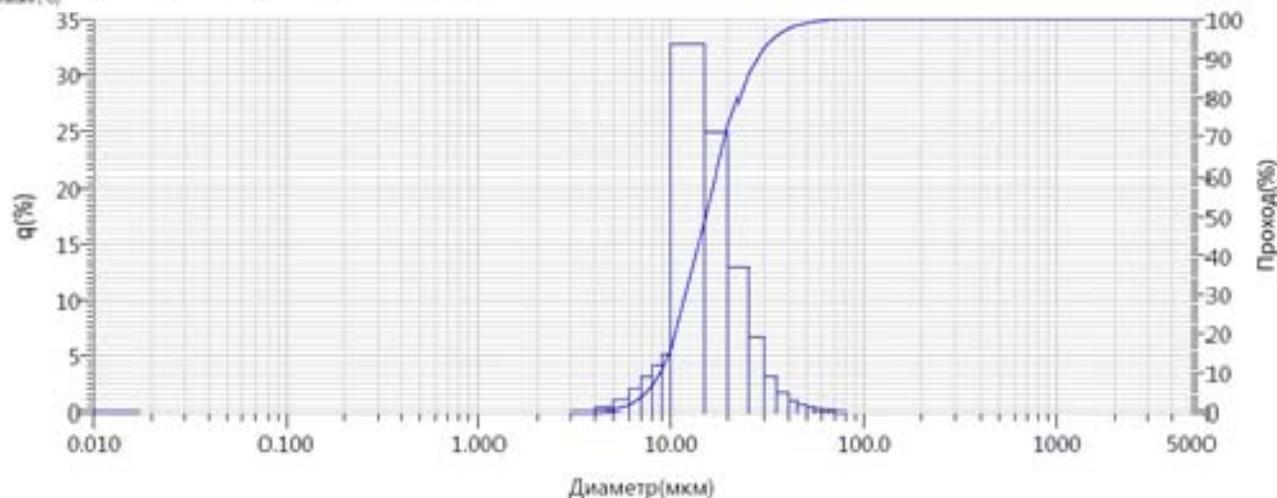
## Минералогический состав известковой пыли

Потери в интервале температур 450-600 °С, %	Содержание $\text{Ca}(\text{OH})_2 / \text{CaO}$ , %	Потери в интервале температур 600-1000 °С, %	Содержание $\text{CaCO}_3 / \text{CaO}$ , %	Примеси, %
10,59	43,5 / 32,9	21,65	49,2 / 27,6	до 7,0



TG-DTA анализ известковой пыли

**Гранулометрический состав известковой пыли**  
 Большую часть гранулометрического состава составляют частицы размером от 15 до 30 мкм. Средний геометрический размер частиц составляет 15,5 мкм.



## Результаты испытания контрольных образцов согласно плану эксперимента

№ г	Кодированные значения факторов			Натуральные величины факторов			Анализируемые параметры			
	Z <sub>1</sub>	Z <sub>2</sub>	Z <sub>3</sub>	Z <sub>1</sub> , %	Z <sub>2</sub> , %	Z <sub>3</sub> , МПа	R <sub>сж.</sub> , МПа	ρ, г/см <sup>3</sup>	K <sub>p</sub>	W <sub>m</sub> , %
1	-1	-1	-1	20,0	6,0	20,0	21,8	1,99	0,84	11,4
2	+1	-1	-1	40,0	6,0	20,0	30,9	1,82	0,74	15,5
3	-1	+1	-1	20,0	10,0	20,0	20,8	1,98	0,62	11,3
4	+1	+1	-1	40,0	10,0	20,0	32,9	1,98	0,77	13,9
5	-1	-1	+1	20,0	6,0	30,0	31,0	2,06	0,66	10,3
6	+1	-1	+1	40,0	6,0	30,0	43,8	1,90	0,69	13,3
7	-1	+1	+1	20,0	10,0	30,0	18,4	2,02	0,73	10,5
8	+1	+1	+1	40,0	10,0	30,0	28,5	1,91	0,73	13,1
9	-1,682	0	0	13,18	8,0	25,0	14,9	2,09	0,60	9,1
10	+1,682	0	0	46,82	8,0	25,0	41,0	1,80	0,68	15,6
11	0	-1,682	0	30,0	4,64	25,0	30,1	1,92	0,71	13,1
12	0	+1,682	0	30,0	11,36	25,0	12,9	1,92	0,71	12,8
13	0	0	-1,682	30,0	8,0	16,59	30,4	1,88	0,68	14,6
14	0	0	+1,682	30,0	8,0	33,41	39,6	1,98	0,69	11,7
15	0	0	0	30,0	8,0	25,0	36,2	1,94	0,58	12,8
16	0	0	0	30,0	8,0	25,0	36,0	1,94	0,60	12,9
17	0	0	0	30,0	8,0	25,0	36,3	1,95	0,59	12,8
18	0	0	0	30,0	8,0	25,0	35,8	1,93	0,60	12,7

В качестве варьируемых факторов были приняты:  
 (Z1) - содержание известковой пыли;  
 (Z2) - водосодержание сырьевой смеси;  
 (Z3) - давление прессования опытных образцов.

## Уравнения регрессии после карбонизации

Прочность при сжатии, МПа

$$R = 36,52 + 15,80 Z_1 - 11,08 Z_2 + 4,51 Z_3 - 6,74 Z_1^2 - 11,27 Z_2^2 - 1,73 Z_3^2 + 5,10 Z_1 Z_2 + 0,42 Z_1 Z_3 - 7,21 Z_2 Z_3$$

Средняя плотность, г/см<sup>3</sup>

$$\rho = 1,94 - 0,135 Z_1 + 0,015 Z_2 + 0,043 Z_3 + 0,013 Z_1^2 + 0,012 Z_2^2 + 0,002 Z_3^2 + 0,053 Z_1 Z_2 - 0,024 Z_1 Z_3 - 0,046 Z_2 Z_3$$

Коэффициент размягчения

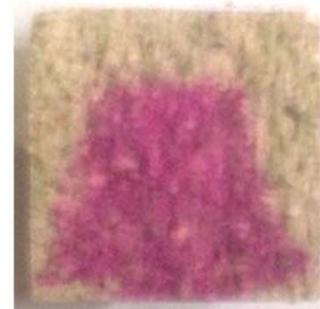
$$K_p = 0,58 + 0,02 Z_1 + 0,05 Z_1^2 + 0,13 Z_2^2 + 0,08 Z_3^2 + 0,04 Z_1 Z_2 + 0,01 Z_1 Z_3 + 0,09 Z_2 Z_3$$

Водопоглощение по массе, %

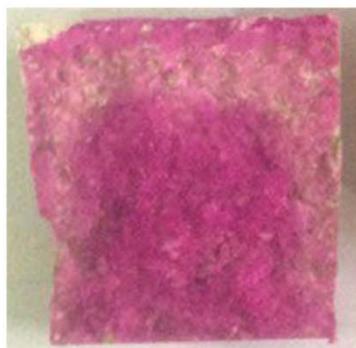
$$W = 12,94 + 3,39 Z_1 - 0,34 Z_2 - 1,45 Z_3 - 0,57 Z_1^2 - 0,14 Z_2^2 + 0,01 Z_3^2 - 0,46 Z_1 Z_2 - 0,26 Z_1 Z_3 + 0,39 Z_2 Z_3$$

## Качественное определение прохождения реакции карбонизации

**20 % мас. известковой пыли**



**40 % мас. известковой пыли**



**Z<sub>2</sub>-6%**  
**Z<sub>3</sub>-20 МПа**

**Z<sub>2</sub>-6%**  
**Z<sub>3</sub>-30 МПа**

**Z<sub>2</sub>-10%**  
**Z<sub>3</sub>-20 МПа**

**Z<sub>2</sub>-10%**  
**Z<sub>3</sub>-30 МПа**

Время карбонизации – 180 минут.

## Карбонизированные изделия из опытной партии



## Выводы

1. Проведенные исследования позволили установить, что на основе исследуемого вторичного сырья методом принудительной карбонизации, возможно получение определенной номенклатуры строительной продукции с необходимыми эксплуатационными характеристиками.
2. Прочность при сжатии 35-40 МПа, средняя плотность 1,95-2,0 г/см<sup>3</sup>, водопоглощение по массе 9-12 %. Водостойкость материала по коэффициенту размягчения 0,65-0,75. При этом установлено, что с увеличением толщины карбонизированного слоя  $K_p$  также увеличивается. Соответственно, увеличение времени карбонизации будет способствовать повышению показателя водостойкости карбонизированного материала на основе исследуемого вторичного сырья.