

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

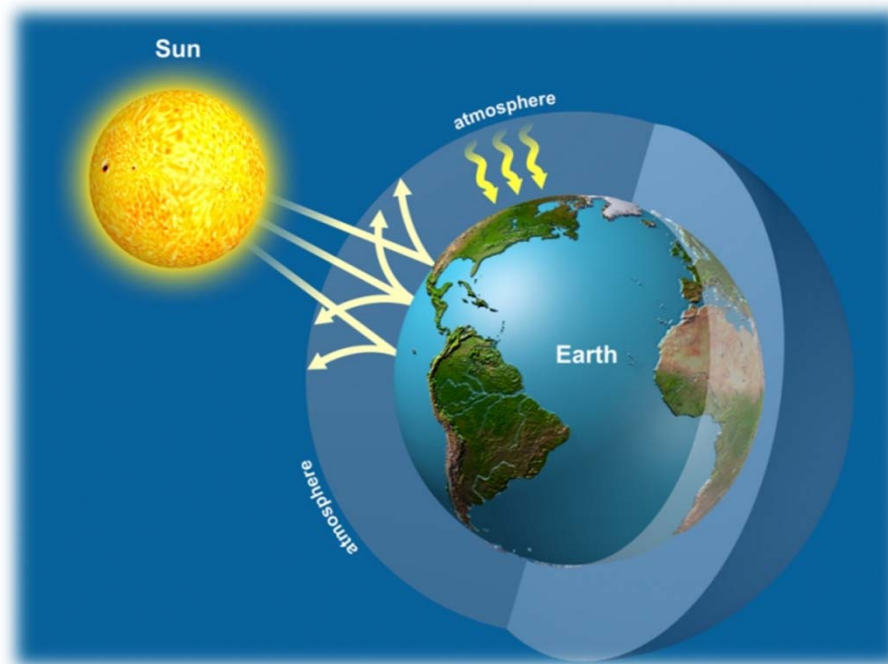
Наиболее актуальные глобальные проблемы современности

- **Охрана окружающей среды**

- **Рациональное использование природных ресурсов**

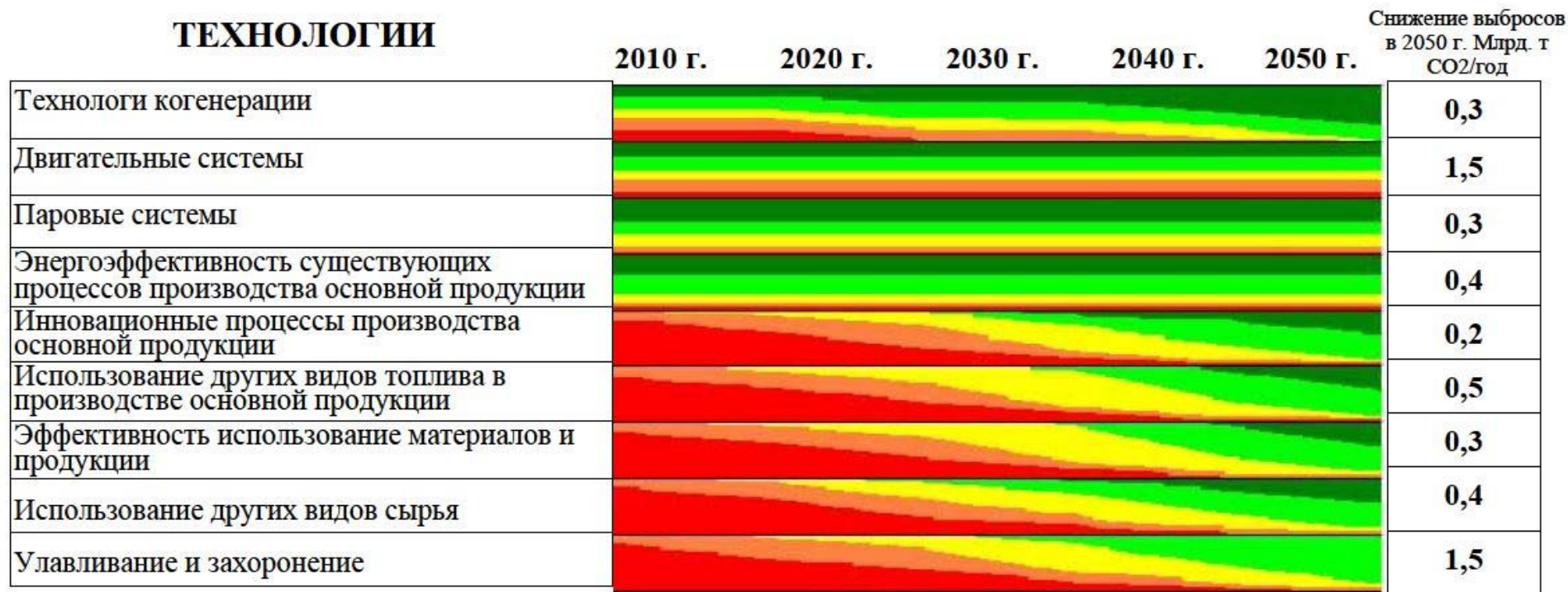


Одной из важнейших мировых экологических задач является поиск средств, направленных на снижение парникового эффекта Земли, возникновение которого связано с увеличением техногенных выбросов парниковых газов (в особенности CO_2) в атмосферу Земли



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 CO₂

Стадия когда технология является конкурентоспособной при условии стимулирования выбросов CO₂

Правительственная поддержка внедрения

Стадия демонстрации

Стадия научно-исследовательских работ

Источник: Перспективы энергетических технологий. Стратегии и сценарии до 2050 г., МЭА, www.iea.org

Одним из способов сокращения выбросов CO_2 является его улавливание и связывание в стабильные нерастворимые соединения обладающие вяжущими свойствами.

К числу пригодного вторичного сырья способного связывать 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

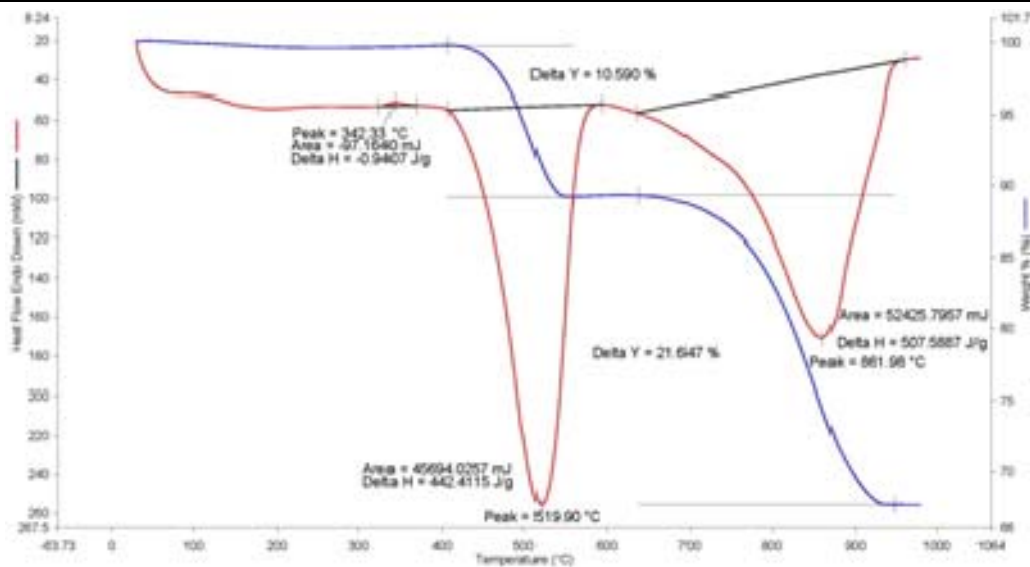


Цель исследований:

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

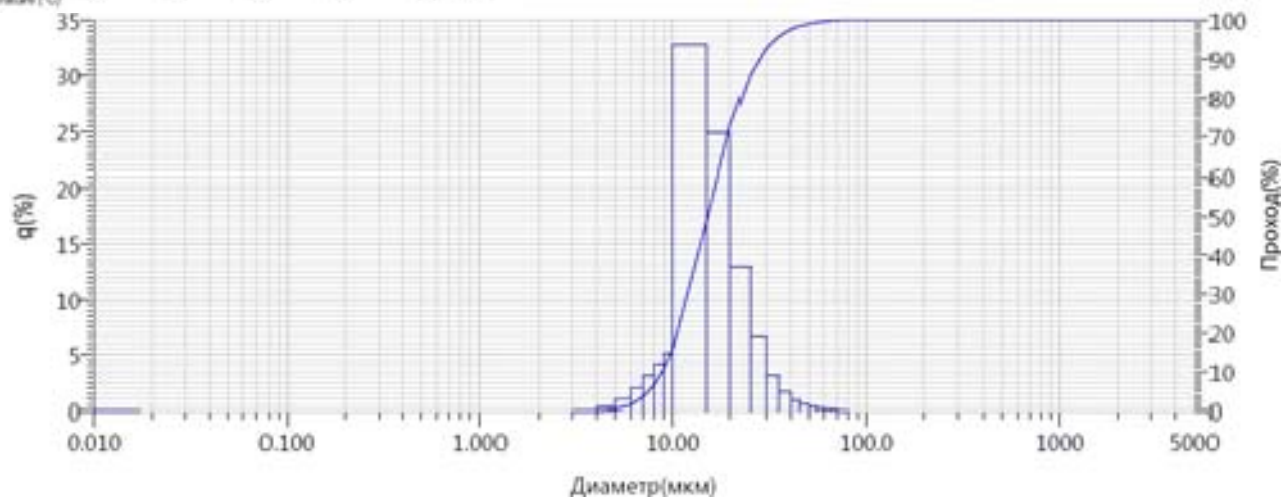
Минералогический состав известковой пыли

Потери в интервале температур 450-600 °С, %	Содержание Ca(OH) ₂ / CaO, %	Потери в интервале температур 600-1000 °С, %	Содержание CaCO ₃ / 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 ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₁ , %	Z ₂ , %	Z ₃ , МПа	R _{сж.} , МПа	ρ, г/см ³	K _p	W _m , %
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/см³

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

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, %

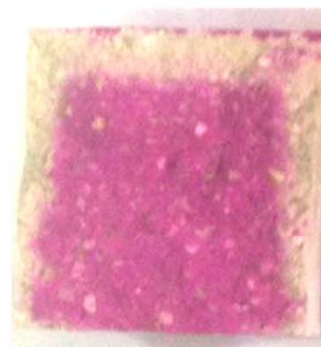
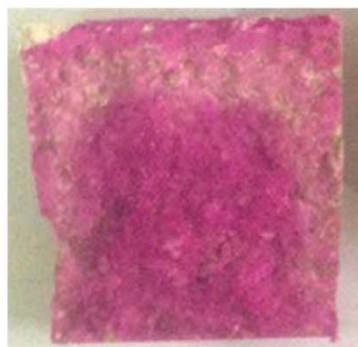
$$W = 12,94 + 3,39 Z_1 - 0,34 Z_2 - 1,45 Z_3 - 0,57 Z_1^2 - 0,14 Z_2^2 + 0,01 Z_3^2 - 0,46 Z_1 Z_2 - 0,26 Z_1 Z_3 + 0,39 Z_2 Z_3$$

Качественное определение прохождения реакции карбонизации

20 % мас. известковой пыли



40 % мас. известковой пыли



Z₂-6%
Z₃-20 МПа

Z₂-6%
Z₃-30 МПа

Z₂-10%
Z₃-20 МПа

Z₂-10%
Z₃-30 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/см³, 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.