

УДК 624.01+691.26

**АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЫРЬЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ БЕЛАРУСИ
ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ**

*канд. техн. наук Д.В. МИХАЛЬКОВ; канд. техн. наук, доц. В.С. МИХАЛЬКОВ
(Белорусско-Российский университет, Могилев)*

Рассматривается создание энергоэффективных и недорогостоящих строительных конструкций как одна из задач строительной отрасли Беларуси для строительства энергоэффективных жилых зданий, в которых низкое потребление энергии сочетается с хорошим микроклиматом. В качестве основы для получения теплоизоляционных материалов предлагается белорусский трепел. Дана краткая характеристика его месторождения, минеральный и химический составы, изучены физико-механические свойства. Проанализирована оптимизация процесса измельчения трепела, описаны конструктивные параметры дробильной установки ударного действия в технологической цепочке. Получены необходимые условия отсутствия реактивных ударных импульсов на ее вертикальный вал в соответствии с решенной математической моделью движения ударного элемента дробильной установки. Предлагаются конструкции стеновых панелей и утепления по перекрытию для использования в малоэтажном домостроении.

Ключевые слова: малоэтажное домостроение, строительные конструкции, энергоэффективность, теплоизоляционные материалы, трепел, дробильная установка.

Разработка и использование энергоэффективных ограждающих конструкций для малоэтажного и крупнопанельного домостроения высокой заводской готовности – одно из направлений деятельности ученых России по новым строительным технологиям. В ЦНИИСК (Москва) разработана и запатентована технологическая линия производства пеностеклокерамики строительного и теплоизоляционного назначения на основе доступного, имеющегося практически во всех регионах России кремнийсодержащего сырья (трепела, диатомита и др.). Такой полиминерал имеется и в Республике Беларусь (Могилевская обл., г.п. Хотимск, месторождение «Стальное»).

Проблему создания массового производства материалов и конструкций нового поколения: особо легких конструкционно-теплоизоляционных бетонов, теплоизоляционных бетонов на вяжущих гидравлических или воздушного твердения, эффективного засыпного утеплителя, высокоэффективного заполнителя в тампонажных растворах для нефтяной и газовой промышленности для изготовления особо легких теплоизоляционных, штукатурных смесей и облегченных выравнивающих смесей для пола и других – можно решить, используя пеностеклокерамику.

Краткая характеристика месторождения. Месторождение известковых трепелов «Стальное» расположено в Хотимском районе Могилевской области. Северо-восточной частью площадь месторождения примыкает к государственной границе Российской Федерации. Общие запасы на месторождении по категориям В+С₁+С₂ составляют 48157 тыс. м³ (78015 тыс. т).

Минеральный состав. Трепелы месторождения «Стальное» являются сложным полиминеральным образованием, состоящим из 5-ти тонко перемешанных фаз: опал-кристобалита, рентгеноаморфного опала, цеолитов, кальцита и монтмориллонита.

Опал-кристобалит (SiO₂ с примесью H₂O в опаловой части) – один из основных породообразующих минералов, представляющий собой структурно неупорядоченную форму низкотемпературного кристобалита. Морфологический опал-кристобалит наблюдается в виде шарообразных образований (глобулей) размером 0,001...0,005 мм, поверхность которых осложнена полиобразными отростками, размеры которых в 20...40 раз меньше размеров глобулей. Распределение опал-кристобалита в породе неравномерно и по данным рентгеновского количественного анализа составляет в среднем 25...40%. По разрезу опал-кристобалит присутствует постоянно в количестве 15...20% с небольшими (+5%) частыми колебаниями.

Рентгеноаморфный опал (SiO₂·nH₂O) дополняет опал-кристобалит в кремнеземной составляющей породы. Содержание его определялось рентгенодифрактометрическим методом (находится в пределах от 10 до 24,2%), уменьшаясь при увеличении содержания опал-кристобалита. Размеры глобулей опала составили 1...8 микрон. Суммарное содержание кремнеземных минералов в породе изменяется от 23 до 53%.

Цеолиты являются постоянной составляющей пород месторождения, их содержание колеблется от 12,4 до 20,2% при преобладающем содержании 15...19% и распределяются в породе достаточно равномерно (коэффициент вариации содержания цеолитов равен 12%).

Рентгеноструктурным анализом установлены цеолиты группы термостойкого клиноптилолита, химическая формула которого (Na₂K₂Ca)₃Al₆Si₃₀O₇₂·22H₂O, и гейландита Ca₄Al₈Si₂₈O₇₂·24H₂O. Гейландит, в отличие от клиноптилолита, разрушается при нагревании порошка до 400 °С.



Кальцит (CaCO_3) представлен мельчайшими кристалликами неправильной, реже псевдопризматической, формы и их микроагрегатными скоплениями размером 1...20 мк, которые достаточно равномерно распределены в породе. Основная часть зерен кальцита – обломки и остатки скелетов известкового нанопланктона. Кальцит в породе присутствует постоянно, содержание его изменяется от 15 до 34% и имеет обратную зависимость от содержания опал-кристобалита.

Глинистые минералы представлены монтмориллонитом с примесью хлорита. Монтмориллонит концентрируется в самой тонкой гранулометрической фракции (менее 0,001 мм), содержание его до 20%.

Терригенный материал представлен в основном чешуйками слюды (мусковита, глауконита) – около 5%, зернами кварца и полевого шпата алевритовой размерности.

Учитывая изложенное, полезное ископаемое представляет собой композиционную смесь из 4-х кристаллических компонентов – опал-кристобалита, кальцита, клиноптилолита и монтмориллонита. Рентгеноаморфный опал распределен по всем вышеперечисленным составляющим с размером кристаллов менее 200 Å, а также определяется присутствием реального аморфного (биогенного) кремнезема. Наличие терригенного материала из-за незначительного количества не влияет на технологические свойства сырья.

Из-за сравнительно высокого содержания кальцита, трепела месторождения «Стальное» отнесены к известковым трепелам. Кроме того, они характеризуются повышенным содержанием цеолитов.

По этим признакам полезное ископаемое отличается от большинства промышленных месторождений опок и трепелов. Высокое содержание карбонатов отрицательно сказывается на возможности использования трепелов в некоторых областях их традиционного применения.

Химический состав. Содержание основных окислов изменяется в значительных пределах. Отмечается обратная зависимость содержания CaO от содержания SiO_2 : участкам с наибольшим содержанием SiO_2 соответствует наименьшее содержание CaO и наоборот. Учитывая, что участкам с максимальной величиной SiO_2 и минимальными значениями CaO соответствуют наименьшие мощности полезного ископаемого, можно предположить вынос части карбонатного материала в результате карстообразующих процессов.

Количество SiO_2 определяется суммой кремнезема опал-кристобалита, кремнезема рентгеноаморфного, кремнезема тонкодисперсного терригенного материала, а также кремнезема цеолитов.

От общего количества SiO_2 основную часть составляет реакционно-способный SiO_2 , определяющий технологические свойства известковых трепелов как активной минеральной добавки к цементу.

Сравнение химического состава наиболее чистых литологических разновидностей трепелов и опок показало его существенное различие по степени известковистости и кремнеземистости. Так, содержание SiO_2 в опоках на 15% выше, чем в трепелах, а содержание CaO , наоборот, на 5...10% ниже.

Содержание CaO определяется содержанием кальцита и является нежелательным элементом в традиционных областях применения трепелов. С содержанием кальцита тесно связаны потери при прокаливании (улетучивается в основном CO_2). В известковых трепелах среднее значение потерь при прокаливании составило 19,2%, и эта величина использовалась при пересчете количества окислов на сухое вещество по части химических анализов, проведенных на прокаленное вещество.

Величина Al_2O_3 зависит главным образом от количества глинистого материала и цеолитов; Fe_2O_3 содержится в количестве около 2%.

Трепелы характеризуются сравнительно высокими силикатными и глиноземными модулями и вне зависимости от гидравлической активности являются полезными в качестве высокосиликатной корректирующей добавки для регулирования модулей и минералогического состава клинкера.

Микроэлементы имеют фоновые значения, характерные для этой группы пород. Вредные примеси As, Cd не обнаружены, содержание фтора (F) 0,03...0,07%, свинца (Pb) – 0,0005...0,0007%, в одной пробе – 0,005%. Содержание ртути по данным атомно-адсорбционного определения в пяти пробах колеблется от 16,94 до 21,36·10⁻⁷.

Физико-механические свойства. Полезное ископаемое месторождения в природном состоянии представляет собой пластичную глинистую породу с угловатыми включениями сравнительно крепкой опоки размером 2...7 см (твердость опоки по шкале Мооса – 3, трепела – 1). Естественная влажность трепела 20,7...74,1%, средняя – 56,5%. Естественная влажность в основном увеличивается с глубиной, наибольшие колебания влажности отмечаются в очень пористой и трещиноватой породе. Верхний предел пластичности трепелов – 26...84, нижний – 18...64, число пластичности 8...22. Консистенция трепелов изменяется от полутвердой до текучепластичной. Преобладающей фракцией в трепелах являются частицы менее 0,005 мм, причем содержание ее, как и других фракций, довольно выдержанное и с глубиной становится господствующим.

При высыхании известковый трепел становится полускальной породой низкой прочности. Сопротивление одноосному сжатию сухой породы в среднем 30,0 кг/см². Средняя объемная плотность при естественной влажности 56,5% составляет 1,62 т/м³. Объемная плотность в сухом состоянии – от 0,85. Объемная масса трепела в порошке, в рыхлом состоянии, – 0,56 т/м³. Пористость трепела – 45...60%.



Коэффициент размолосопособности, определенный применительно к карбонатным породам, равен 1,2...1,3, удельные энергозатраты на помол в 2,5...3 раза ниже, чем для клинкеров цементных заводов Республики Беларусь.

Получение исходного продукта

Массовость применения гранулированных материалов в качестве засыпки либо легкого заполнителя для бетонов и растворов в строительстве зависит, прежде всего, от себестоимости сырья и технологических энергозатрат. В данной работе мы остановимся на особенностях измельчения трепела *в дробильной установке ударного действия в технологической цепочке*.

В таблице 1 показаны конструктивные параметры дробилок ударного действия при измельчении различных материалов.

Таблица 1. – Конструктивные параметры дробилок ударного действия

Диаметр камеры дробления, м	Диаметр ротора дробилки, м	Высота камеры дробления, м	Число ярусов ударных элементов	Число ударных элементов на ярусе	Измельчаемый материал
0,4	0,15	0,5	4	6	Гранит
		0,6	3	6	Фосфориты
		0,6	3	6	Сера
0,7	0,3	0,9	3	4	Гранит
		1,1	2	4	Известняк
		1,2	3	4	Шамот
1,0	0,4	1,2	3	4	Гранит
		1,3	2	4	Известняк
		1,2	3	4	Ванадиевый шлак

Основная задача при проектировании дробильных установок – определение рациональных параметров и количества ударных элементов, установление рациональной частоты вращения ротора дробильной установки и выбор необходимой мощности двигателя для обеспечения требуемой производительности, размеров и качества готового продукта. При этом необходимо рациональное сочетание целого ряда показателей [1].

Анализ опыта работы дробильных установок ударного действия с различными материалами, рекомендации исследований ведущих фирм-производителей из всего многообразия эксплуатируемых установок и изучение параметров данных дробильных установок показывают, что наиболее целесообразно принимать следующие основные конструктивные параметры:

- отношение диаметра камеры дробления дробилки к ее высоте 0,6...0,8;
- отношение диаметра ротора к диаметру камеры дробления 0,3...0,5;
- расстояние между соседними ярусами рабочих элементов 0,15...0,2 м;
- число рабочих элементов на каждом ярусе – четное (4, 6, 8);
- расстояние от центра вращения ротора до внутренней стенки камеры дробилки (с учетом гарантированного зазора между внутренней стенкой камеры дробилки и концом вращающегося ударного элемента) – 90% от половины диаметра камеры дробления [1, с. 128–130];
- длины всех рабочих элементов и их звеньев, масса и форма ударных элементов в пределах одного яруса назначаются одинаковыми;
- длины звеньев будут находиться в определенном соотношении с центром масс системы;
- толщина ударного элемента определяется из соображений минимального удельного износа и условиями прочности.

Горизонтальная ось плоскости рабочей поверхности ударного элемента должна проходить через центр масс системы каждого яруса дробильной установки, чтобы обеспечивать, во-первых, прямой удар, а во-вторых, снизить нагрузки на опорные подшипники вертикального вала дробильной установки. В результате постоянного контакта передней кромки ударного элемента с частицами материала происходит интенсивный ее износ и постепенное закругление, что сказывается на качестве конечного продукта. Длина ударного элемента зависит от размеров дробимого материала. Ширина ударного элемента определяется по конструктивным соображениям. Выяснено, что в процессе дробления материал в рабочей камере располагается в форме полого цилиндра. При этом коэффициент отношения внутреннего диаметра полого цилиндра к диаметру рабочей камеры постояен для всех типоразмеров дробилок при данном типе материала [2, с. 54]; определяется зависимостью как отношением зоны, в которой отсутствует материал, к диаметру дробилки.

Для определения оптимального расположения ударных элементов с целью снижения ударных нагрузок (расстояния от оси вращения дробилки до точки приложения внешнего ударного импульса) рассмотрим динамику работы роторных дробилок ударного действия с вертикальным расположением вала.

При вращении вала с ударными элементами (билами) с некоторой угловой скоростью ω в результате столкновения бил с кусками щебня происходит удар, который вызывает в опорных точках ударные реакции, и опоры ротора испытывают ударные давления. Действие ударных сил на опоры может привести к их повреждению.

Определим условия, при которых опоры вращающегося вала с ударными элементами, соударяющимися с кусками щебня, не испытывают действия ударных сил, либо их действие незначительно.

Выбираем правую декартову систему координат XYZ : ось Z направляем по оси вращения ротора в сторону угловой скорости ω , плоскость YOZ проводим через ось вращения и центр масс ударной системы – ротор плюс ударные элементы, т.е. $X_C = 0$; $Y_C = d \neq 0$; $Z_C \neq 0$ (рисунок 1) [1, с. 45–50].

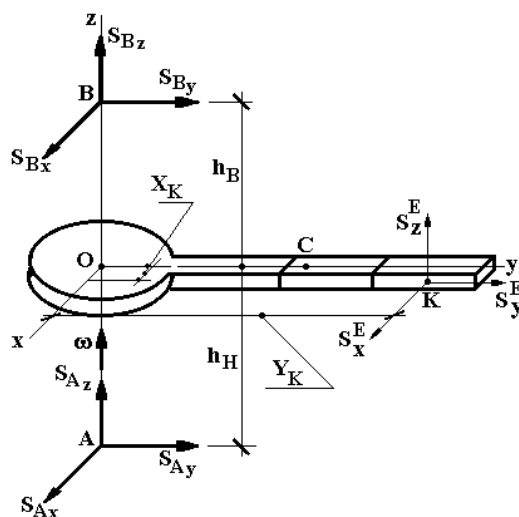


Рисунок 1. – Схема к расчету дробильной установки с вертикальным валом

Принятую систему осей, связанную с вращающейся ударной системой, считаем неподвижной, так как перемещением ударного элемента за время удара ввиду его незначительности пренебрегаем.

Действующий на ударный элемент в точке K с координатами $(X_K; Y_K; Z_K)$ ударный импульс \vec{S} раскладываем на составляющие: $\vec{S}_X, \vec{S}_Y, \vec{S}_Z$ [3; 4]. Обозначаем расстояние от опор A и B до плоскости XOY через h_H и h_B . Разложим на составляющие ударные импульсы \vec{S}_A и \vec{S}_B , приложенные к системе в опорных точках A и B : $\vec{S}_{Ax}, \vec{S}_{Ay}, \vec{S}_{Az}$ и $\vec{S}_{Bx}, \vec{S}_{By}$. Результатом соударения ударного элемента с частицей материала является изменение скорости центра масс ударной системы и изменение ее кинетического момента.

Изменение скорости центра масс ударной системы определяем системой трех уравнений:

$$\begin{cases} m \cdot u_{Cx} - m \cdot v_{Cx} = \sum S_{ix}^E; \\ m \cdot u_{Cy} - m \cdot v_{Cy} = \sum S_{iy}^E; \\ m \cdot u_{Cz} - m \cdot v_{Cz} = \sum S_{iz}^E, \end{cases} \quad (1)$$

а изменение кинетического момента относительно неподвижной точки O опишем системой уравнений:

$$\begin{cases} L_x - L_x^{(O)} = \sum M_x (\vec{S}_i^E); \\ L_y - L_y^{(O)} = \sum M_y (\vec{S}_i^E); \\ L_z - L_z^{(O)} = \sum M_z (\vec{S}_i^E). \end{cases} \quad (2)$$

Угловая скорость за время удара изменится от ω_o до ω .

Вращательная скорость центра масс ударной системы (точка C) параллельна оси X и направлена противоположно направлению этой оси: до удара ее значение $V_c = \omega_o \cdot d$; после удара $u_c = \omega \cdot d$ (d – расстояние до центра масс системы).

Проекции вектора угловой скорости ударной системы на оси координат:

- до удара $\omega_{OX} = 0; \omega_{OY} = 0; \omega_{OZ} = \omega_0$;

- после удара: $\omega_x = 0; \omega_y = 0; \omega_z = \omega$.

Кинетические моменты ударной системы относительно координатных осей определяем по формулам:

$$\begin{cases} L_x^{(0)} = -I_{ZX} \cdot \omega_0; L_y^{(0)} = -I_{YZ} \cdot \omega_0; L_z^{(0)} = I_z \cdot \omega_0; \\ L_x = -I_{ZX} \cdot \omega; L_y = -I_{YZ} \cdot \omega; L_z = I_z \cdot \omega, \end{cases} \quad (3)$$

где I_z – момент инерции ударной системы относительно оси Z ; I_{ZX} , I_{YZ} – центробежные моменты инерции системы относительно осей Z, X и осей Y, Z .

Подставим значения проекций скорости центра масс ударной системы (точка C) и кинетических моментов ударной системы в левые части уравнений (1) и (2), а в правые части этих уравнений – проекции всех внешних ударных импульсов. После преобразования получим:

$$\begin{cases} -m \cdot d \cdot (\omega - \omega_0) = S_x^E + S_{AX} + S_{BX}; \\ 0 = S_y^E + S_{AY} + S_{BY}; \\ 0 = S_z^E + S_{AZ} + S_{BZ}; \\ -I_{ZX} \cdot (\omega - \omega_0) = S_z^E \cdot Y_K - S_y^E \cdot Z_K - S_{AY} \cdot h_H - S_{BY} \cdot h_B; \\ -I_{YZ} \cdot (\omega - \omega_0) = S_x^E \cdot Z_K - S_z^E \cdot X_K - S_{AX} \cdot h_H + S_{BX} \cdot h_B; \\ I_z \cdot (\omega - \omega_0) = S_y^E \cdot X_K - S_y^E \cdot Y_K. \end{cases} \quad (4)$$

Решение системы уравнений (4) позволяет определить изменение угловой скорости ударной системы при ударе $(\omega - \omega_0)$, четыре проекции на оси координат реактивных ударных импульсов: S_{AX} , S_{AY} , S_{BX} , S_{BY} и сумму проекций реактивных импульсов на ось вращения Z : $S_{AZ} + S_{BZ}$. Определим, при каких условиях эти проекции, а также ударные импульсы \vec{S}_A и \vec{S}_B равны нулю, т.е. условия, при которых удар не передавался бы на опоры. Для этого приравняем нулю все проекции реактивных импульсов \vec{S}_A и \vec{S}_B в системе уравнений (4):

$$\begin{cases} -m \cdot d \cdot (\omega - \omega_0) = S_x^E; \\ 0 = S_y^E; \\ 0 = S_z^E; \\ -I_{ZX} \cdot (\omega - \omega_0) = S_z^E \cdot Y_K - S_y^E \cdot Z_K; \\ -I_{YZ} \cdot (\omega - \omega_0) = S_x^E \cdot Z_K - S_z^E \cdot X_K; \\ I_z \cdot (\omega - \omega_0) = S_y^E \cdot X_K - S_x^E \cdot Y_K. \end{cases} \quad (5)$$

Из второго и третьего уравнений системы (5) следует, что для того, чтобы ударные реактивные импульсы на опорах были равны нулю, необходимо внешний ударный импульс направить параллельно оси X , или то же, что внешний ударный импульс должен быть направлен перпендикулярно к плоскости ZOY , проведенной через центр тяжести системы и ось вращения. При $S_y^E = S_z^E = 0$ первое, четвертое, пятое и шестое уравнения системы уравнений (5) принимают вид

$$\begin{cases} -m \cdot d \cdot (\omega - \omega_0) = S_x^E; \\ -I_{ZX} \cdot (\omega - \omega_0) = 0; \\ -I_{YZ} \cdot (\omega - \omega_0) = S_x^E \cdot Z_K; \\ I_z \cdot (\omega - \omega_0) = -S_x^E \cdot Y_K. \end{cases} \quad (6)$$

Из четвертого уравнения системы (5) определяем, что $I_{ZX} = 0$.



Изменение угловой скорости ударной системы при соударении с частицей материала определим из первого уравнения системы уравнений (6):

$$\omega - \omega_o = -\frac{S_x^E}{m \cdot d}. \quad (7)$$

Из третьего и четвертого уравнений системы уравнений (6) определим координаты точки K , от которой прилагается ударный импульс \vec{S}^E :

$$\begin{cases} Z_K = -\frac{I_{YZ} \cdot (\omega - \omega_o)}{S_x^E} = -\frac{I_{YZ}}{S_x^E} \cdot \left(-\frac{S_x^E}{m \cdot d}\right) = \frac{I_{YZ}}{m \cdot d}; \\ Y_K = -\frac{I_Z \cdot (\omega - \omega_o)}{S_x^E} = -\frac{I_Z}{S_x^E} \cdot \left(-\frac{S_x^E}{m \cdot d}\right) = \frac{I_Z}{m \cdot d}. \end{cases} \quad (8)$$

Таким образом, координаты точки соударения могут быть следующие: координата X_K может иметь любую величину (горизонтальные размеры била не влияют на повышение нагрузки на опоры), координаты Y_K и Z_K должны иметь следующие значения:

$$Y_K = \frac{I_Z}{m \cdot d}; \quad Z_K = \frac{I_{YZ}}{m \cdot d}. \quad (9)$$

Из совокупности параллельных осей ось, проходящая через центр масс тела, характеризуется наименьшим моментом инерции (теорема Штайнера о зависимости моментов инерции тела относительно параллельных осей, одна из которых проходит через центр тяжести), можно записать $I_Z = I_{CZ} + m \cdot d^2$, поэтому выражение для Y_K из (9) можно переписать следующим образом:

$$Y_K = \frac{I_{CZ}}{m \cdot d} + d, \quad (10)$$

соответственно, $Y_K > d$.

Это значит, что проекция точки K (точки приложения внешнего ударного импульса) на плоскость YOZ должна находиться от оси вращения дальше, чем центр масс C ударной системы.

Таким образом, мы получили необходимые условия отсутствия реактивных ударных импульсов на ось вращения, а именно:

- внешний ударный импульс должен быть направлен перпендикулярно к плоскости, проведенной через центр тяжести и ось вращения Oz ($S_y = S_z = 0$);
- центробежный момент инерции вращающегося тела относительно оси вращения и оси, проходящей через ось вращения тела и его центр тяжести, должен быть равен нулю ($I_{yz} = 0$);
- две координаты точки приложения внешнего ударного импульса определяются формулами:

$$Y_K = \frac{I_{Cz}}{m \cdot d} + d; \quad Z_K = \frac{I_{YZ}}{m \cdot d};$$

- третья координата может быть взята произвольно.

Если выбрать начало координат так, чтобы $Z_K = 0$, тогда из формулы $Z_K = \frac{I_{YZ}}{m \cdot d}$ следует, что $I_{yz} = 0$ и ее координата определяется по формуле (10).

Если известен радиус инерции тела ρ относительно оси вращения, момент инерции I_{yz} может быть представлен как $I_{yz} = m \cdot \rho^2$, тогда положение точки приложения ударного импульса определится координатой $Y_K = \frac{\rho^2}{d}$. Точка K , через которую проходит линия ударного импульса, не вызывающего ударных реактивных импульсов в подшипниках вертикального вала, и есть центр удара.

На производительность дробилки существенно влияют условия подачи исходного материала и его крупность. Наибольшая производительность дробильной установки достигается при такой нагрузке, когда в зону работы ударных элементов постоянно подается исходный материал. Однако при этом в загрузочном окне может накапливаться исходный материал, что приводит к неритмичной работе дробилки. Крупность исходного материала не должна превышать значений, при которых происходит затрудненное перемещение материала в камере, возможно заклинивание камней и образование свода.



Чаще всего производительность дробильных установок ударного действия определяют либо экспериментальным путем, либо аналитическим. Эмпирические зависимости учитывают влияние выбранных параметров, но не отражают физической сути происходящих процессов. Из-за сложности определения степени влияния каждого параметра, число выбранных параметров не превышает трех. Данные формулы дают приемлемый результат для ряда машин, у которых степень влияния на производительность не учитываемых в формуле параметров приблизительно равна, т.е. их применение требует соблюдения определенных условий. Более точный результат дают аналитические формулы, которые учитывают не только влияющие параметры и степень их влияния, но и их взаимосвязь. Влияние большого количества факторов, не позволяющих инженерными методами определить производительность, учитывают поправочными коэффициентами, которые получают экспериментально.

Производительность дробилки определяется рядом последовательных операций разрушения и перемещения материала к разгрузочному окну. Максимальная производительность наблюдается, когда после первого контакта ударного элемента с частицей материала, последняя полностью удаляется из камеры дробления. В этом процессе участвуют и вертикальные отражательно-просеивающие решетки. Но при этом всегда существует вероятность, что частица материала не проникнет или недостаточно глубоко проникнет в рабочую зону ударных элементов, поэтому некоторая доля частиц материала не будет раздроблена. Это увеличивает долю недоизмельченного материала, который приходится дополнительно перерабатывать. На стадии предварительного расчета производительность можно определить по формуле

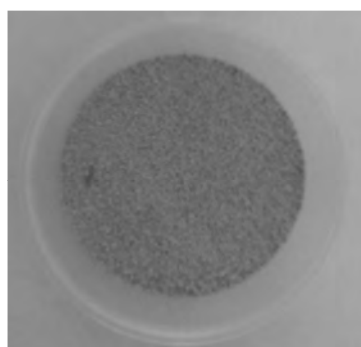
$$Q = 3600 \cdot \gamma_m \cdot A \cdot V \cdot K_m \cdot K_k, \quad (11)$$

где γ_m – плотность материала, т/м³; $A = \frac{\pi \cdot (D-d)^2}{4}$ – площадь истечения материала в камере дробления, м²;

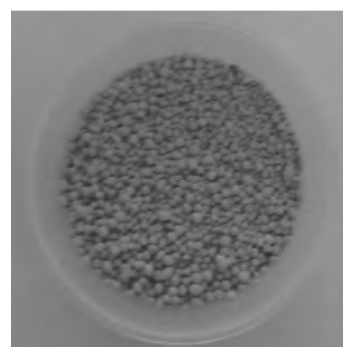
$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{120} \cdot (1 + K_1)$ – линейная скорость ударных элементов, м/с;

Внешний вид пеностеклокерамики на основе белорусского трепела. Последовательность технологических операций по производству изложена в монографии Б.К. Демидовича [5] и в целом не изменилась до настоящего времени. Глубокая химическая переработка описана в [6], поэтому в представляемой нами работе подробно рассматриваться эти вопросы не будут.

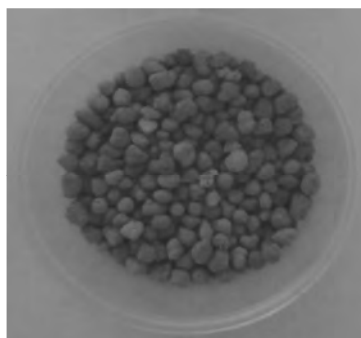
Разработана «сухая» технология получения гранулированной пеностеклокерамики различного фракционного состава, внешний вид которого показан на рисунке 2.



фракция 0,25...1,0 мм,
плотность 400 кг/м³



фракция 1,0...2,5 мм,
плотность 300 кг/м³



фракция 2,5...5,0 мм,
плотность 260 кг/м³



фракция 5,0...15,0 мм,
плотность 180 кг/м³

Рисунок 2. – Пеностеклокерамика на основе белорусского трепела

Область применения. На рисунке 3 показан конструктивный вариант применения гранулированного трепела при утеплении перекрытий над подвалом и чердачных неотапливаемых перекрытий. На нагружаемый пол, основанием которого служит плита перекрытия, укладывается георешетка, в ячейки которой укладывается гранулированный трепел, на него внахлест укладывается пленка, которая будет служить гидроизолятором. Поверх пленки делается стяжка. Стяжка плавающего пола отделяется от стен тонким слоем утеплителя (демпфером). Сухую стяжку укрывают пароизолятором и стелют основание для чистового пола.

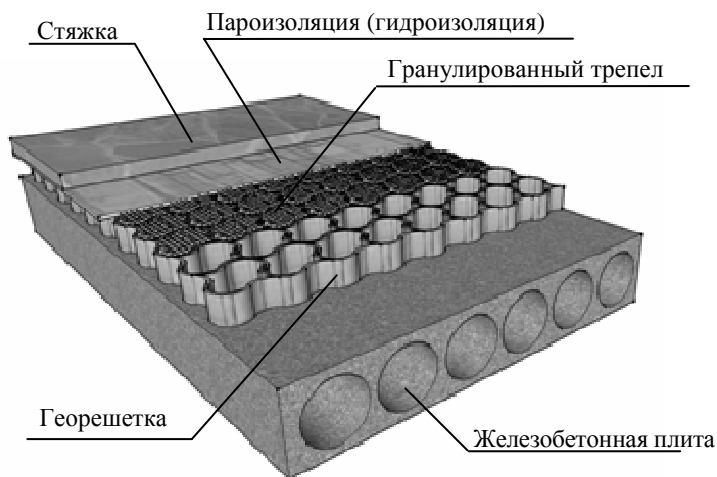


Рисунок 3. – Конструкция системы утепления перекрытия по железобетонным плитам

Гранулированный трепел в качестве теплоизоляционного материала может применяться при утеплении перекрытия по деревянным балкам с подшивкой досками или ориентированной стружечной плитой.

Конструкция стеновых панелей с утеплителем из пеностеклобетонных плит на основе трепела представлена на рисунке 4. Основным элементом является унифицированная панель из гранулированного трепела месторождения «Стальное». Каждая панель имеет несущий каркас, выполненный из оцинкованного металлического профиля либо деревянных брусков. Жесткость в каркасе дополнительно обеспечивается применением ограждающих панелей несъемной опалубки. Стеновая панель имеет размеры: 600 и 1200 мм по ширине; 2400, 2700, 3000 мм по высоте, что позволяет оптимизировать ее применение в соответствии со строительной модульной системой. Удельный вес панелей составляет 700...800 кг/м³.

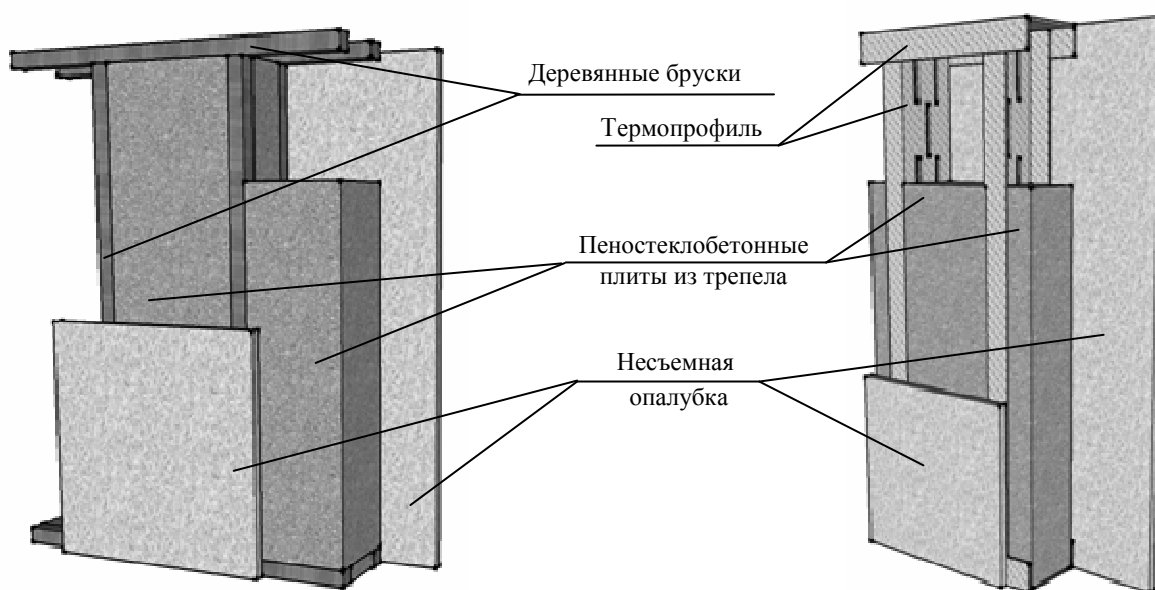


Рисунок 4. – Принципиальные конструкции стеновых панелей с эффективным утеплителем для малоэтажного домостроения

Заключение

В настоящее время исследование и оптимизация составов гранулированной и блочной пеностеклокерамики продолжаются. Завершено строительство промышленной линии по производству трепела. Ведется подбор и оптимизация параметров технологического оборудования.

Получены следующие характеристики пеностеклокерамики:

- фракционный состав вспененного гранулята – 0,25...15 мм с возможностью регулирования преобладающей фракции;

- насыпная плотность – 180...400 кг/м³;

- прочность на сжатие в цилиндре – 0,5...2,5 МПа;

- объемное водопоглощение – не более 2%;

- экологичность и пожарная безопасность конечного продукта.

Гранулированная пеностеклокерамика на основе трепела – один из наиболее эффективных, долговечных и безопасных насыпных теплоизоляционных материалов. Расчетная себестоимость 1 м³ материала может быть уменьшена не менее чем на 20...30% за счет удешевления сырьевой составляющей, сокращения числа и оптимизации технологических операций, оптимального подбора технологического, в первую очередь дробильного оборудования.

Все указанное выше создает предпосылки для массового применения белорусской пеностеклокерамики в строительстве.

ЛИТЕРАТУРА

1. Михальков, Д.В. Обоснование параметров дробилки ударного действия для получения материалов узкофракционного гранулометрического состава : дис. ... канд. техн. наук : 05.05.04 / Д.В. Михальков. – Минск, 2003. – 186 с.
2. Абушкевич, А.А. Энергосберегающий помольный комплекс для цементного клинкера на основе роторно-цепного предизмельчителя и трубной мельницы : дис. ... канд. техн. наук : 05.05.04 / А.А. Абушкевич. – Белгород, 2000. – 142 с.
3. Яблонский, А.А. Курс теоретической механики : учеб. для вузов / А.А. Яблонский. – изд. 5-е, испр. – М. : Высш. шк., 1977. – Ч. II : Динамика. – 532 с.
4. Никитин, Н.Н. Курс теоретической механики : учеб. для машиностроит. и приборостроит. спец вузов / Н.Н. Никитин. – 5-е изд, перераб. и доп. – М. : Высш. шк., 1990. – 607 с.
5. Демидович, Б.К. Производство и применение пеностекла / Б.К. Демидович. – Минск : Наука и техника, 1972. – 304 с.
6. Мелконян, Р.Г. Аморфные горные породы и стекловарение / Р.Г. Мелконян. – М. : НИИ Природа, 2002. – 266 с.

Поступила 29.03.2017

**ANALYSIS OF POSSIBILITY OF USE OF RAW MATERIALS
OF BELARUS FOR OBTAINING ENERGY-EFFICIENT BUILDING DESIGN**

D. MIKHALKOV, V. MIKHALKOV

Creating energy efficient and inexpensive building constructions is one of the tasks of the construction industry of Belarus for the construction of energy-efficient homes, where low power consumption is combined with a good climate is considered. As a basis for thermal insulation materials the Belarusian tripoli is proposed. A brief description of the field, the mineral and chemical composition, studied the physical and mechanical properties is given. The optimization process of grinding and tripoli design parameters described crusher impact in the processing chain is considered. The necessary conditions for the absence of reactive shock pulses in the vertical shaft crusher in accordance with the decision of the mathematical model of movement of the impactor crusher. Construction of wall panels and insulation to cut off for use in low-rise housing construction are proposed.

Keywords: low rise building construction, building construction, energy efficiency, thermal insulation materials, tripoli, impactor crusher.

