

УДК 622.73

А.С. ДРЕШПАК

(Украина, Днепр, Государственный ВУЗ "Национальный горный университет")

ОБОСНОВАНИЕ ИСХОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ ОБОГАЩЕНИЯ ИЗВЕСТНЯКОВ ИЗ НЕОДНОРОДНЫХ КАРБОНАТНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Основная часть разрабатываемых запасов однородных известняков расположена в Донецкой области и Автономной Республике Крым. Остальные месторождения известняков, расположенные в Хмельницкой, Тернопольской, Ивано-Франковской и Херсонской областях, имеют низкие физико-механические свойства и химический состав. Это обусловлено особенностью залегания пластов известняков, в которых наличие глинистых частиц в верхних и средних слоях приводит к разубоживанию товарного известняка при дальнейшей переработке. Для достижения параметров, требуемых различными отраслями промышленности, такие неоднородные известняки требуют дополнительного обогащения.

Традиционно, известняки широко используют в металлургической, химической, цементной, строительной, сахарной отраслях промышленности и в сельском хозяйстве для очистки кислых дренажных вод, для десульфации потоков газа, для обработки грунтов и т. п. Такое широкое применение возможно только для обогащенного известнякового щебня, содержащего максимум CaCO_3 .

В металлургической промышленности основное применение для известняков – это добавка в виде основного флюса к шихте для выплавки чугуна и стали.

В доменном производстве практически единственным видом основного флюса является известняк, в виде природной формы минерала кальцита – CaCO_3 . Здесь флюс применяется для связывания кристаллов кремнезема, находящихся в железной руде. Использование известняка в чёрной металлургии обусловлено тем, что для флюсования пустой породы руд и золы кокса требуется значительное количество основных оксидов. Кроме того, большинство производственных процессов направлено на удаление вредных примесей, которые можно вывести из расплава полностью или частично при работе на основных шлаках. Для образования шлаков необходимы значительные добавки основного флюса. Важнейшее требование, предъявляемое к ним – низкое содержание кремнезёма, глинозёма и вредных примесей (серы и фосфора) [2].

В металлургической промышленности известняк используется в качестве флюса. Стоит отметить еще один немаловажный – известняковые продукты при плавлении образуют защитный слой шлака на поверхности стали, что наблюда-

ється також при осуществлении операции литья заготовок. В итоге, образовавшийся слой шлака эффективно уменьшает потери тепла с поверхности, что позволяет экономить энергетические ресурсы [3].

При производстве цемента смесь глины с известняком в определенных количественных соотношениях обжигают в специальных печах при 1400-1500 °С. Полученную спекшуюся массу размалывают в тонкий порошок, в состав которого в основном входят элементы Ca, Al, Fe, Si, O. Из цемента, песка, щебня, воды и некоторых других добавок получают важный строительный материал – бетон. Кроме того, дробленый известняк крупностью 0-80 мм и бутовый камень крупностью 100-300мм широко применяется в строительстве как наполнитель бетона, при изготовлении других строительных смесей, выступая в роли катализатора проходящих в них химических реакций. Он используется как сырье для производства извести, в железобетонных конструкциях с невысокой нагрузкой, а также при выполнении отделочных работ в фасадах зданий.

Известняковый песок без примесей часто используется как наполнитель при производстве высококачественной продукции:

- керамических изделий, плитки;
- в качестве сырья для производства известняковой муки.
- полимерно-песчаной черепицы;
- в качестве наполнителя для бетонно-мозаичных полов.

В строительстве известняковая крупка крупностью 1-10 мм применяется при производстве силикатного кирпича, стеновых блоков, служит пластификатором в штукатурных растворах, полимербетоне, асфальтобетонных и прочих сухих строительных смесях [4, 5].

Известняк является важным реагентом в технологическом процессе стекловарения. Стекло почти на треть состоит из содержащегося в известняке карбоната кальция. Вещества, получаемые из известняка, выступают в роли отвердителя, благодаря которому стекло приобретает твердость и плотность. К применяемой в этом производстве известняковой крупке предъявляются жесткие требования к низкому содержанию железа (не более 0,2%, для сортовой посуды – 0,3%). Это необходимое условие для получения бесцветного стекла. Содержание кальцита не должно быть ниже 53%. Оксид кальция, получаемый из известняка, способствует силикатообразованию, существенно облегчает процесс варки и обеспечивает его прозрачность.

Применение известняка в стекольной промышленности способствует проявлению антикоррозийных и антиэрозийных свойств, повышает устойчивость к температурным и химическим воздействиям, защищает от выветривания. Негашеная известь и известковая мука используются при производстве стекловолокна и стеклоткани.

Практически незаменимым считается использование известняков при производстве сахара. С его помощью осуществляют очистку свекольного сока от различного рода примесей. Известняк играет главную роль в процессе осветления конечного продукта – сахара. В сахарной промышленности используется

Загальні питання технологій збагачення

известь високого качества, которую получают при соблюдении всех необходимых норм и требований из известнякового щебня. Для очистки сахара полученный ранее раствор пропускается сквозь выделяемый при обжиге углекислый газ. В результате получают очищенный сахарный раствор, из которого изготавливается сахар высшего сорта. Оставшийся после окончания производственного цикла сатурационный осадок в дальнейшем может использоваться в сельском хозяйстве в качестве минерального удобрения (карбокальк или сатурационный известняк).

В животноводстве известняковая мука используется при производстве комбикормов для сельскохозяйственных животных и птицы. Например, яйценосные и мясные породы птиц нуждаются в постоянном присутствии минералов в рационе для быстрого формирования костной ткани и скорлупы яиц. Применение известняковой муки при кормлении успешно покрывает эти потребности. Малый диаметр крупки позволяет использовать её при подкормке птицы, не только путем смешивания с основным кормом, но в качестве обычного пищевого продукта.

Применение известняка в сельском хозяйстве связано со снижением кислотности почвы. Важным фактором для успешного выращивания злаков, овощей и корнеплодов является контроль кислотности грунта (рН). Известняковая мука является популярным нейтрализатором кислотности (раскислителем) среды в растениеводстве и крупных сельских хозяйствах.

Требования различных отраслей промышленности к известнякам приведены в табл. 1.

Таблица 1

Качественные показатели известняков		Требования промышленностей к качеству известнякового сырья				
		ДСТУ, СОУ или ТУ для промышленностей				
		Доменное пр-во	Металл. пр-во	Сталеплав., ферросплав. пр-во	Пр-во извести	Пр-во цемента
Крупность классов крупности, мм		5-20, 20-40, 40-80, 80-130	5-20, 20-40, 40-80, 80-130	5-20, 20-40, 40-80, 80-130	5-20, 20-40, 40-80, 80-130	0-5, 5-20, 20-40, 40-80
Целевые комп-ты, не менее чем	CaO, %	50,5	52,5	53,0	51,5	45,0
	MgO, %	5,0	5,0	3,5		2,0-4,0
Нецелевые комп-ты, не более чем	SiO ₂ , %	3,0	2,0	2,0	8,0	25,0
	Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ , %	4,0	3,0			
	S, %	0,15	0,15	0,15		
	P, %	0,06	0,06	0,01		

В таблице 1 приведены предельные значения концентрации отдельных минералов в товарном продукте, причем для CaO и MgO приведена нижняя до-

пустимая граница, а для остальных компонентов – верхняя предельная граница. Из таблицы видно, что требования к известняку достаточно высокие. Содержание целевых компонентов должно отвечать указанным условиям. Это приводит к тому, что область возможного применения исходного карбонатного сырья неоднородных месторождений без дополнительного обогащения снижается. Обоснование структуры, используемых для этого технологических линий, регламентов их работы возможно на основе детального анализа исходного сырья, изучения его особенностей. Анализ позволит выявить и в дальнейшем реализовать возможности для получения в товарных продуктах требуемых качественных показателей.

Месторождения Херсонской области, а также ряд месторождений Западной Украины, характеризуются горизонтальным и пологим падением пластов (2-6°), перемежаемостью известняков различных структур, высокой неоднородностью по прочности с колебаниями в пределах от 6-7 МПа до 100-120 МПа, а в целом для месторождений этой группы 40-80 МПа, относительно небольшой мощностью 10-30 м. Отдельные прослойки глины встречаются между слоями в пределах одной толщи. Количество слабых пород с прочностью на сжатие менее 20 МПа различное и колеблется от 5-20 до 30-40%. Неоднородность месторождений, связанных с прочностью, обусловлена наличием прослоев слабых известняков и мергелистых пород, выветренных пород в верхних слоях и материалов, обволакивающих отдельные слои прочных пород [1]. Поэтому, добыча известняков из таких месторождений зачастую вынуждает производителей проводить дополнительное обогащение, чтобы соответствовать требованиям различных отраслей промышленности, приведенных в табл. 1. Изучение состава исходного сырья таких месторождений важно как с точки зрения обеспечения требуемого качества, так и обоснования подходов к его обогащению. Проведенные исследования позволили осуществить такой анализ.

На действующем карьере Западно-Тягинского месторождения Херсонской области, производящем известняковый щебень из неоднородных карбонатных пород, была взята общая проба массой $Q = 100$ кг и крупностью 0-120 мм. На действующем участке карьера представлены осадочные породы неогенового и четвертичного возраста. Полезное ископаемое представлено известняками понтического, мэотического, верхнесарматского возраста. Общая мощность полезного ископаемого колеблется от 3 до 22 м. Прослой глинистых известняков и глин, залегающих в верхней части разреза верхнесарматских отложений отнесены к промежуточной вскрыше. Вскрышные породы представлены почвенно-растительным слоем, суглинками, глинами, плитчатыми и разрушенными раковинно-детритовыми известняками мощностью от 0 до 18,7 м, при средней – 4,97 м.

Общая проба была взята из конвейера, собирающего известняк одновременно после I стадии дробления и после I стадии грохочения (рис. 1). Основная цель эксперимента состояла в выделении классов крупности исходного материала и оценки содержания кальцита и сопутствующих нецелевых компонен-

тов. Из полученной пробы путем просеивания на лабораторных ситах выделен класс крупности +80 мм, как содержащий преимущественно кальцит CaCO_3 с незначительным содержанием остальных нецелевых компонентов. Класс крупности 0-80 мм усредняется, сокращается и делится пробоотделителем на три одинаковых по массе пробы для последующих испытаний.

Проба 1 – массой $Q = 20$ кг предназначена для анализа сопутствующих компонентов и кальцита по действующей технологической схеме (рис. 1);

Проба 2 – массой $Q = 20$ кг предназначена для анализа сопутствующих компонентов по улучшенной технологической схеме;

Проба 3 – массой $Q = 20$ кг контрольная, для получения максимально возможных значений совокупности параметров d_i (где d_i – содержание кальцита CaCO_3 в разных классах крупности, %).

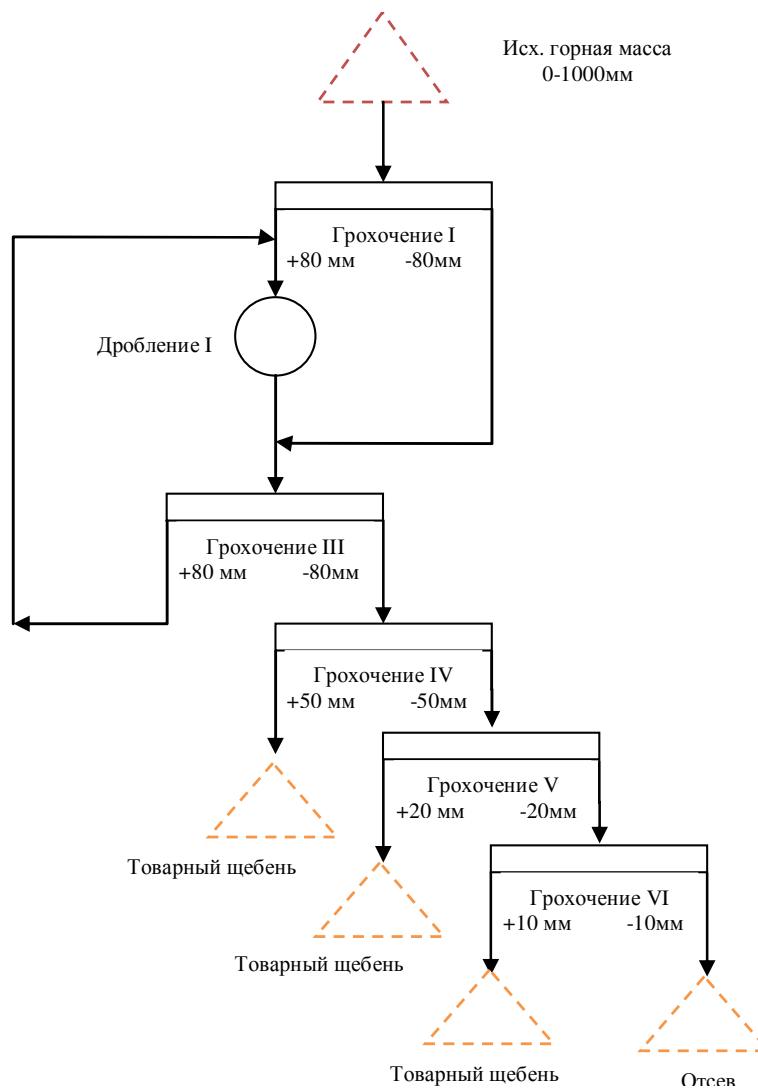


Рис. 1. Технологическая схема переработки неоднородных карбонатных пород

Загальні питання технологій збагачення

Из контрольной пробы 3 путем квартования и последующего усреднения было получено 3 пробы весом в 0,7 кг. Каждая проба просеивалась на лабораторных ситах с размерами ячеек – 40,0, 20,0, 10,0, 7,0, 5,0, 2,0 и 0,8 мм. Просеивание происходило при естественной влажности 6%. Все узкие классы крупности были впоследствии взвешены на аналитических весах. Полученные значения просуммированы и занесены в табл. 2. Далее, путем промывания каждого узкого класса крупности по классу 0,05 мм были выделены сопутствующие компоненты, размер которых менее 50 мкм (глина, суглинки, пески). После отмучивания подрешетного класса и обезвоживания надрешетного класса, оба продукта были высушены в духовом шкафу при температуре 110 °С в течение 2 часов. После просушки все классы находились в течение суток при естественной влажности 6%. Результаты взвешивания материалов узких классов крупности известняка и сопутствующих компонентов также были занесены в табл. 2.

Таблица 2

Соотношение известняка и сопутствующих компонентов в товарных классах крупности

Класс крупности, мм	Вес навески, г	Част. выход γ , %	Сумм. выход γ , %	Соп. компоненты, г	Соп. компоненты, %	Чистый известняк, г	Чистый известняк, %	Соп. компоненты, уд. %	Чистый известняк, уд. %
40-80	413,26	19,03	100,00	111,74	27,04	301,52	72,96	5,14	13,88
20-40	345,6	15,91	80,97	104,5	30,24	241,1	69,76	4,81	11,10
10-20	270,07	12,43	65,06	110,85	41,04	159,22	58,96	5,10	7,33
7-10	236,29	10,88	52,63	105,58	44,68	130,71	55,32	4,86	6,02
5-7	150,75	6,94	41,75	83,88	55,64	66,87	44,36	3,86	3,08
2-5	165,64	7,63	34,81	92,05	55,57	73,59	44,43	4,24	3,39
0,8-2	240,32	11,06	27,19	156,32	65,05	84,00	34,95	7,20	3,87
0-0,8	350,26	16,12	16,12	194,23	55,45	156,03	44,55	8,94	7,18
ИТОГО:	2172,19	100,0							

Полученные числовые значения показателей, представлены в виде диаграммы, отражающей состав минералов в типовых товарных классах крупности.

Соотношение кальцита и сопутствующих компонентов SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 в готовых классах крупности

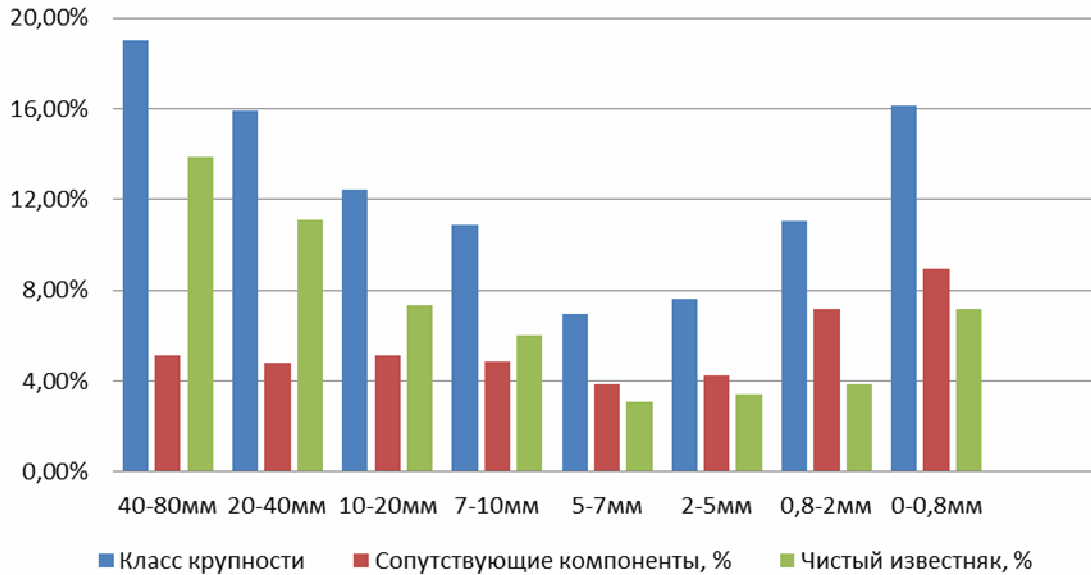


Рис. 2. Диаграмма, отражающая соотношение кальцита и сопутствующих компонентов в типовых товарных классах крупности

Анализируя состав известнякового материала, можно прийти к выводу о том, что более крупные куски известнякового щебня содержат меньшее количество глинистых частиц. Это можно объяснить тем, что сrostки, состоящие из более мелких зерен известняка, сцепленных с помощью глинистых частиц при участии воды в виде естественной влаги, при попадании в товарный продукт разубоживают химический состав кальцита нежелательными примесями SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 . Данные табл. 2 показывают, что в подобном виде товарные продукты не соответствуют требованиям по качеству, приведенным в табл. 1 и подлежат дополнительному обогащению.

Покажем, что такая зависимость действительно существует. Для этого каждому среднему значению класса крупности $d_{i\text{cp}}$, приводимом в табл. 2 (например, для класса крупности 40-80 мм $d_{i\text{cp}}$ составляет 60мм) поставим в соответствие полученное значение процентного содержания чистого известняка (кальцита) y_i соответствующей крупности.

Таблица 3

Среднее значение крупности в соотношении с содержанием целевого компонента								
$d_{i\text{cp}}$, мм	60	30	15	8,5	6	3,5	1,4	0,4
y_i , %	72,96	69,76	58,96	44,36	44,43	34,95	34,95	44,55

Загальні питання технологій збагачення

Аналізуючи кореляційну зв'язь между дискретними значеннями $d_{i\text{cp}}$ и y_i можно прийти к выводу, что такая зв'язь существует. Для значенний, приведенных в табл. 3 коэффициент корреляции составляет 0,876 (для расчета использовалась функция Corr системы Mathcad). Столь существенная зв'язь говорит о том, что по процентному содержанию известняка можно в определённой степени судить о крупности материала. Низкое содержание сопутствующих компонентов подтверждает преобладание в пробе более крупных частиц кальцита. Такая зависимость содержания кальцита от крупности может определять дальнейший выбор факторов, влияющих на показатели обогащения известняка с учетом существующей между этими факторами зв'язей.

Путем дискретной аппроксимации на основе данных табл. 3 получим регрессионную зависимость, отражающую зв'язь $y_i (d_{i\text{cp}})$. Уравнение линейной регрессии запишем в виде $y = ad_{i\text{cp}} + b$. Результаты расчета с помощью функции Line (V_x, V_y) системы Mathcad приведены на рис. 3. На рис. 3 показаны также дискретные точки $d_{i\text{cp}}$ и y_i .

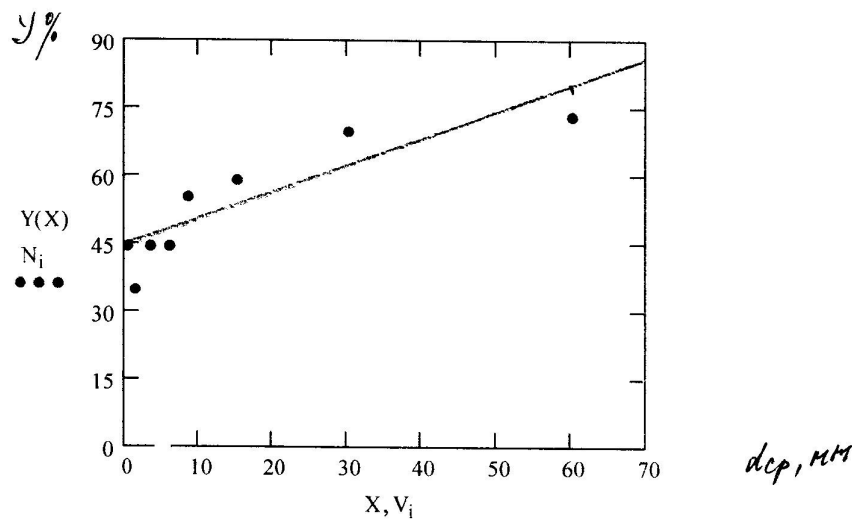


Рис. 3. Регрессионная зависимость содержания кальцита от средней крупности исходного материала

Полученный расчет подтверждает целесообразность применения линейной регрессионной зависимости между переменными. Рассчитанный коэффициент детерминации составил 0,768.

Зависимость процентного содержания чистого известняка от класса крупности исходного материала, поступающего на переработку, может служить основой для выбора граничного размера зерна разделения и размера ячеек грохота, осуществляющего его классификацию [6]. Для выбора размера ячейки необходимо задать допустимый процент чистого известняка в подрешетном продукте или допустимый процент сопутствующих нецелевых компонентов в подрешетном продукте. Исходя из результатов табл. 2, можно установить, что изменение размера ячеек грохота по классу разделения 7 мм, в подрешетном про-

дукте окажется в виде потерь 17,52% чистого известняка (в соотношении с массой перерабатываемого исходного материала). Ясно, что при уменьшении размера ячейки, процентное содержание чистого известняка в подрешетном продукте будет снижаться. Таким образом, имея результаты экспериментальных исследований характеристик исходного сырья рассматриваемого карьера, представленных в табл. 2, и задавая допустимое значение известняка в подрешетном продукте, можно рассчитать приемлемые размеры ячеек грохота, т.е. определить конструктивные параметры сепарационного устройства.

Выводы

1. На территории Украины широко распространены месторождения неоднородных карбонатных пород, расположенных на небольшой глубине и с малой высотой вскрыши. Такие месторождения характеризуются высоким содержанием сопутствующих примесей (глина, песок, мергель, и т.п.), что обуславливает низкое качество выпускаемого известнякового щебня.

2. Широкое использование в практике производства товарного известняка из неоднородных карбонатных месторождений требует применения единых подходов к переработке и обогащению исходного сырья, предполагающее повышения содержания кальцита CaCO_3 в товарных продуктах. Это позволит улучшить качество конечного продукта и расширить область его применения во всех отраслях промышленности и сельского хозяйства.

3. Повышение качества известняка предполагает всесторонний анализ исходного сырья. При выраженной слоистости месторождений, где условия формирования незначительно отличаются от условий Западно-Тягинского карьера, следует ожидать, что характеристики исходного сырья этих месторождений будут отличаться незначительно. Соответственно, характеристики соотношений кальцита и сопутствующих компонентов в готовых классах крупности, как правило, близкими к полученным на Западно-Тягинском карьере. Это позволяет, в определенной степени, обобщить полученные результаты анализа исходного сырья.

4. Анализ исходного сырья показал, что существует корреляционная связь между крупностью узких классов известняка и содержанием в них кальцита и нецелевых сопутствующих компонентов SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 . Коэффициент корреляции составляет 0,876, что свидетельствует о значительном уровне этой связи. Вывод важен для обоснования выбора факторов, влияющих на качество известняка при переработке сырья технологическими линиями карьеров.

5. Предложено размер граничного разделения для классификации исходного сырья неоднородных карбонатных месторождений задавать исходя из допустимого значения содержания известняка в подрешетном продукте или содержанию сопутствующих компонентов в надрешетном продукте. Благодаря такому подходу конструктивные параметры классификатора связывают с результатами анализа характеристик исходного сырья.

Загальні питання технологій збагачення

Список літератури

1. Шлаин И.Б. Разработка месторождений карбонатных пород. – М.: Недра, 1968. – 293 с.
2. СОУ МПП 73.080-028:2004 "Вапняки флюсові для доменного виробництва. Технічні умови", К. :Мінпромполітики України, 2004 р.
3. СОУ МПП 73.080-177:2007 "Вапняки флюсові для сталеплавильного і феросплавного виробництва. Технічні умови", К. :Мінпромполітики України, 2007 р.
4. ДСТУ Б В.2.7-109-2001 "Породи карбонатні для виробництва вапна. Технічні умови", К. :Мінпромполітики України, 2001 р.
5. ДСТУ Б В.2.7-46:2010 "Цементи загально будівельного призначення. Технічні умови", К. :Мінпромполітики України, 2010 р.
6. Надутый, В.П., Остапенко В.А., Ягнюков В.Ф. Синтез параметров валковых классификаторов вибрационного типа: Монография. – К.: Наук. думка, 2006. – 188 с.

© Дрешпак А.С., 2016

*Надійшла до редколегії 02.08.2016 р.
Рекомендовано до публікації д.т.н. П.І. Піловим*