

П.В. ШАПОРЕВ, аспирант, НТУ "ХПИ", Харьков
В.Ф. РАЙКО, канд. техн. наук, проф., НТУ "ХПИ", Харьков
В.В. СЕБКО, д-р техн. наук, доц., НТУ "ХПИ", Харьков
Д.И. НЕЧИПОРЕНКО, канд. техн. наук, доц., НТУ "ХПИ", Харьков
А.И. ПОСТОРОНКО, канд. техн. наук, доц., УИПА, Харьков

О ВОЗМОЖНОСТИ ОБОГАЩЕНИЯ ИЗВЕСТНЯКОВ КЛАССА 40-150 мм С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФОТОЭЛЕКТРОННОГО СЕПАРАТОРА

Введение. Высокодисперсный гидроксид кальция широко используется в химической и нефтеперерабатывающей промышленности. Наиболее широкого применения продукт получил в качестве присадок к моторным маслам. К качеству гидроксида кальция, который используется как присадка к маслам, предъявляются жесткие требования по многим показателям: содержанию основного вещества, дисперсности и другие. Особенно высокие требования предъявляются к содержанию в продукте $\text{CaCO}_3 < 1,5\%$ и содержанию оксида магния $< 1\%$. Наличие этих примесей более установленных норм, резко ухудшает качество присадок к маслам и, в конечном счете, способствует преждевременному износу двигателей внутреннего сгорания. Нами в работе [1] показано, что сырьем для получения гидроксида кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$ является карбонатное сырье CaCO_3 (известняк, мел), который после отжига в шахтных печах при температуре 1250°C подвергается гидратации водой с образованием порошка $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Анализ процессов на каждой стадии производства [1] показал, что основная фракция известняка (мела), которая поступает на обжиг в шахтную печь, должна быть размером 80-120 мм, причем количество фракций с размером < 80 мм не должно превышать 10 %, а более 120 мм, также $< 10\%$.

Такой, достаточно узкий фракционный состав исходного сырья, необходим для обеспечения условий равномерного обжига сырья в шахтной печи и достижения высокой степени превращения CaCO_3 в CaO . Это обеспечивает выполнение требований к $\text{Ca}(\text{OH})_2$ по содержанию CaCO_3 . Что касается содержания примесей MgO и полуторных оксидов, то указанные примеси, как правило [1], при переработке продукта обжига CaO в гидрат в эквивалентном количестве их содержания

в CaCO_3 , переходят в продукт гидратации. Таким образом, для повышения качества присадок к маслам и уменьшения количества отходов при проведении процесса гидратации и классификации продукта, необходимы методы обогащения карбонатного сырья с целью уменьшения количества нежелательных примесей: солей магния и полуторных оксидов.

Одним из способов обогащения известняков для производства гидроксида кальция может быть метод разделения крупнокускового материала по цветовому признаку, если удастся установить необходимую связь и зависимость между цветовыми характеристиками известняков и их химическим составом. Известно также, что в СНГ фотометрические методы обогащения исследовались и осуществлялись, в основном, с применением английских фотоэлектронных сепараторов Сортекс-811 в рудодобывающей промышленности. В СНГ разработан и поставлен на производство фотометрический сепаратор с применением лазерных источников света [2], который осуществляет оценку потоковых параметров кускового материала класса 40-150 мм, при этом, каждый кусок оценивается отдельно. Куски материала располагаются на ленточном транспортере периодически на расстоянии 0,14 м. Этот транспортер доставляет материал в фотометрическую камеру со скоростью 1,5-2 м/с, далее куски летят по траектории свободного падения, проходя контроль. После контроля опико-электронная система вырабатывает или не вырабатывает сигнал на удаление куска с потока. При сигнале об удалении куска из потока включается система выброса посредством залпа сжатого воздуха. Источником света [2] является луч света лазера красного цвета (630 нм), кусок осматривается как в полете, так и на ленте конвейера со всех сторон. Луч имеет диаметр 2 мм, движение луча осуществляется в направлении перпендикулярном движению куска. Линии на куске, освещаемые лучом, располагаются через 2 мм, в результате чего кусок освещается всплошную по всей поверхности.

Цель работы – оценка возможности обогащения по цветовому признаку рядовых известняков до кондиций, удовлетворяющих требованиям к карбонатному сырью в производстве гидроксида кальция.

При этом, ориентировались на применение лазерных источников света – красный цвет (630 нм).

1. Методика проведения экспериментов.

При исследованиях использовались известняки Каракубского, Тургоянского, Шах-Тау, Еленовского, Обидимского месторождений основ-

ных надгоризонтов. Указанные известняки имеют следующий усредненный химический состав (%), приведенный в табл. 1.

Таблица 1 – Химический состав сырья для получения гидроксида кальция.

| Месторождения сырья | Химический состав, % | | | |
|---------------------|----------------------|-------------------|--|----------------------------|
| | CaCO ₃ | MgCO ₃ | Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃ | Нерастворимый осадок в HCl |
| Каракубское | 96,8-97,9 | 1,2-1,1 | 0,3-0,37 | 0,5-0,68 |
| Тургойанское | 97,0-98,5 | 0,65-0,8 | 0,08-0,1 | 0,4-0,59 |
| Обидимское | 97,0-97,5 | 1,2-1,3 | 0,18-0,2 | 0,4-0,43 |
| Шах-Тау | 94,8-95,3 | 3,4-3,0 | 1,0-1,2 | 0,6-0,8 |
| Еленовское | 89,5-95,09 | 1,15-2,11 | 0,23-0,47 | 0,43 |

Для исследования были отобраны куски известняков с различными цветовыми оттенками (визуально). Для каждого куска определялась

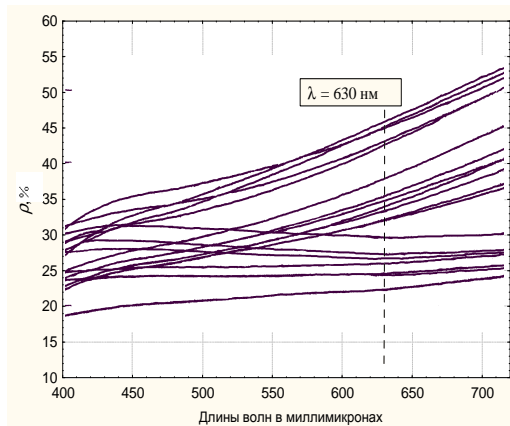


Рис. 1.

цветовая характеристика – коэффициент спектрального отражения с использованием спектрофотометра СФ-10. Запись диаграмм проводилась в координатах "коэффициент отражения – длина волны спектра". Типичная диаграмма представлена на рис. 1. Коэффициенты спектрального отражения определялись для зерен класса 0,25-7 мм, пластинах размером 45×45×5 мм и естественных кусках после дробильно-сортировочной фабрики.

Для получения зернового материала куски дробились, после дробления проводился рассев на ситах с получением фракций 0,25-1; 2-3; 3-5; 5-7 мм. Пластины вырезали из кусков по шаблону на специальном станке с помощью алмазного диска. Пластины готовились таким образом, чтобы одна ее сторона была представлена неровным естественным изломом. Определение коэффициентов отражения на этих пластинах, т.е. фактически на кусках проводилось как на сторонах с неровным изломом, так и на сторонах с гладкой поверхностью.

Перед подготовкой материала к определению коэффициентов отражения исходный материал промывался водой от следов глины и песка, как это предусматривается технологическим процессом [1], а затем уже дробился или вырезались пластины. Полученные образцы перед измерением коэффициентов отражения подвергались химическому анализу с целью определения. CaCO_3 , MgCO_3 , R_2O_3 , NO в HCl по методикам технических условий для известняков, предназначенных для производства гидроксида кальция.

2. Результаты экспериментальных исследований и их обобщения.

О цветовых характеристиках известняковых порошков. После приготовления порошков (класс минус 0,25 мм) из имевшихся различных известняков, было замечено, что они отличаются визуально по цвету от тех кусков, из которых были приготовлены. Оказалось также, что визуальные соотношения между цветами отдельных кусков не соответствуют этим соотношениям между полученными из них порошками.

Сказанное выше подтверждается данными, приведенными в табл. 2.

Таблица 2 – Характеристика кусков и порошков класса < 0,25 мм.

| № образца | Визуальный цвет куска, месторождение | Визуальный цвет порошка | Коэффициент отражения, % |
|-----------|--------------------------------------|-------------------------|--------------------------|
| 1 | светлый, Тургойское | светлый | 69,4 |
| 2 | светлый, Обидимское | светлый | 68,7 |
| 3 | светло-серый, Обидимское | светлый | 68,4 |
| 4 | серый, Каракубское | светлосерый | 60,5 |
| 5 | пепельный, Каракубское | светлосерый | 57,5 |
| 6 | темно-серый, Шах-Тау | серый | 42,2 |
| 7 | темно-серый, Еленовское | серый | 35,6 |

Образцы в табл. 2 расположены в порядке увеличения темного оттенка. Из табл. 2 видно, что визуально цвета порошков 2 и 3 выровнялись, что подтверждается величиной коэффициентов отражения, определенного на приборе СФ–10. В то же время, разница между образцами в цвете кусков была значительно заметнее. Аналогичное заключение можно сделать и о паре образцов 4 и 5. И наоборот, порошки образцов 5, 6, 7 визуально сильнее отличались, чем куски, что также следует из соответствующих значений коэффициентов отражения.

Таким образом, цвета порошков неодинаково характеризуют цвета кусков, из которых они приготовлены. Количественное соотношение между ними иногда увеличивается, иногда уменьшается, то есть, цвет порошка не всегда в одинаковой мере отражает цвет куска. По-

этому нецелесообразно пользоваться порошками, с целью определения показателей кусков известняков.

Определение коэффициента диффузного отражения на зерновом материале и на пластинах. Из тех же образцов, из которых были приготовлены порошки, измельчением были получены следующие классы зернового материала: 0,25-1, 2-3, 3-5 и 5-7 мм. Использованию более крупных классов частиц препятствовали ограниченные размеры кюветы прибора СФ–10 (диаметр 46 мм, глубина 5 мм), в которую помещался испытуемый материал. Результаты определения коэффициентов отражения этих классов зерна приведены в табл. 3 (данные 1.1 – 1.5).

Таблица 3. Определение коэффициентов отражения для зерен и кусков.

| № п/п | Показатели | Цвет образца, месторождение | | | | |
|-------|---|-----------------------------|-------------------------|-------------------|---------------------|---------------------|
| | | светлый Обидимское | светло-серый Обидимское | серый Каракубское | тепелый Каракубское | темно-серый Шах-Тай |
| 1. | Значения коэффициента отражения ρ (%) для частиц размером: | | | | | |
| 1.1. | - 0,25 мм | 68,7 | 68,4 | 60,5 | 57,5 | 42,2 |
| 1.2. | 0,25 – 1 мм | 46,7 | 41,4 | 36,5 | 33,5 | 23,8 |
| 1.3. | 2 – 3 мм | 35,7 | 33,2 | 30,7 | 27,0 | 18,9 |
| 1.4. | 3 – 5 мм | 35,2 | 32,0 | 31,2 | 25,1 | 18,2 |
| 1.5. | 5 – 7 мм | 34,5 | 32,0 | 30,2 | 24,8 | 18,3 |
| 2. | Значение a_0 | 34,14 | 30,60 | 28,87 | 24,01 | 17,15 |
| 3. | Значение a_1 | 8,83 | 9,51 | 7,89 | 8,43 | 6,28 |
| 4. | Ср. относит. погрешность, % | 3,5 | 1,4 | 1,3 | 1,6 | 1,2 |
| 5. | Коэф. корреляции | 0,989 | 0,999 | 0,999 | 0,999 | 0,999 |
| 6. | Значения ρ для куска (пластины) | | | | | |
| 6.1. | с гладкой поверхностью | 43,0 | 33,7 | 34,0 | 28,3 | 24,5 |
| 6.2. | с неровным изломом | 45,0 | - | 32,1 | 23,1 | 34,4 |

Как видно, с увеличением крупности частиц для всех случаев коэффициент отражения уменьшается, т.е. уменьшается их белизна, зерновой материал приобретает более темные оттенки.

Обработка этих результатов на электронно-вычислительной машине показала, что для каждого из образцов имеет место четкая зависимость между коэффициентом отражения и величиной частиц материала, которую в общем виде можно представить уравнением

$$\rho = a_0 + a_1/m,$$

где: m – размер частиц, мм; a_0 – свободный член; a_1 – коэффициент

пропорциональности.

Значения полученных величин a_0 и a_1 приведены в строках 2 и 3. Обращает на себя внимание очень низкие значения средней относительной погрешности и очень высокие значения коэффициентов корреляции величин, рассчитанных по приведенной формуле, и экспериментальных (строки 4 и 5 табл. 3).

Из приведенных данных видно, что с увеличением размера частиц коэффициент отражения уменьшаясь стремится к величине a_0 , которая и должна бы соответствовать коэффициентам отражения для кускового материала. Для проверки этого предположения решено было изготовить из тех же образцов известняка пластины, размеры которых совпадали бы с размерами чашки кюветы спектрофотометра по ее диаметру и глубине, т.е. диаметром около 45 мм, толщиной 5 мм.

Определение коэффициентов отражения на этих пластинах, т.е. фактически на кусках, проводилось как на сторонах с неровным изломом, так и на сторонах аналогичных реальным условиям работы сепаратора, так и на сторонах с гладкой поверхностью. Последнее было проделано с целью уточнения того положения, что состояние поверхности образца не оказывает заметного влияния на коэффициент отражения. Результаты определений приведены в строках 6.1. и 6.2 табл. 3. Из этих данных видно, что для исследованных образцов известняка коэффициент отражения для неровной и гладкой поверхностей заметно разнятся между собой для одного и того же образца, что не совпадает с выводами Уралмеханобра, который проводил исследования на доломитах.

Что касается связи между показателями, относящимися к кусковому и зерновому материалам, в частности, между коэффициентом отражения для куска и величиной a_0 , то она для данных образцов практически не прослеживается, т.е. пользуясь данными цветовых характеристик зерновых материалов очень трудно выйти на цветовые параметры кусковых материалов. В связи с этим, была предпринята попытка найти способ определения коэффициентов отражения непосредственно на кусках исследуемых образцов.

Определение коэффициентов отражения на кусковых образцах. Проще всего было бы определение коэффициентов отражения вести в кювете на пластинах, одна из сторон, которых имела бы естественную поверхность разрушения. Однако трудность приготовления их и большое количество необходимых образцов потребовали бы больших затрат труда и времени.

Было решено попытаться изменить методику определения коэффициента отражения на спектрофотометре СФ-10 с тем, чтобы отказаться от

использования кюветы, а вместо нее помещать в прибор исследуемый кусок известняка неправильной формы, т.е. кусок взятый непосредственно из пробы, отобранный на дробильно-сортировочной фабрике.

Для этого с помощью фотографической бумаги были определены величина светового пятна и его положение в кювете в интегрирующем шаре прибора СФ–10. Пятно света, освещающее образец, как установлено, по форме представляет овал – эллипс с осями 26 и 30 мм. Находится оно в плоскости нижнего отверстия интегрирующего шара прибора и несколько смещено (на 2-3 мм) вперед по отношению к оси опорной площадки, на которой устанавливается и может поворачиваться кювета. Таким образом, было установлено, где и как следует размещать поверхность исследуемого образца.

Кювета в рабочем состоянии прибора обеспечивает светоизоляцию исследуемого объекта в интегрирующем шаре. При отсутствии кюветы светоизоляция нарушается. Поэтому шар и кюветная камера прибора дополнительно изолировалась от света двумя слоями темной ткани, а кюветная площадка прибора, имеющая светло-серый цвет, закрывалась светонепроницаемой черной бумагой. Для исключения попадания бликов от участка поверхности лабораторного стола, находящийся под шаром прибора, этот участок также покрывался черной бумагой. Коэффициент отражения, который показывал прибор в таких условия без образца составлял 6-7 %, т.е. столько же, сколько и с кюветой, когда в нее была вложена черная бумага. В результате, обеспечивалась надежная светоизоляция исследуемых образцов.

При определении коэффициента отражения исследуемая поверхность образца совмещалась с плоскостью нижнего отверстия интегрирующего шара. Небольшие образцы (40-60 мм) в нужном положении при записи диаграммы удерживались кюветной площадкой прибора, имеющей прижимную пружину. Более крупные образцы поддерживались вручную. Запись диаграммы производилась в координатах "коэффициент отражения – длина волны спектра" обычным образом.

Результаты определения коэффициента отражения для различных образцов известняка Обидимского месторождения представлены в табл. 4. Поскольку лазерный источник света сепаратора имеет длину волны 630 нм, то значения коэффициентов отражения определены для этого параметра спектра. В табл. 4 использованы обозначения: ρ – коэффициент спектрального отражения, %; S – среднеквадратичная погрешность серии измерений; t – коэффициент Стьюдента; I – доверительный интервал; H и B – нижний и верхний интервал измерения величины ρ_{cp} ; C – коэффициент вариации.

Из табл. 4 видно, что средние значения коэффициентов отраже-

ния изменяются от 56,8% до 18,9%.

Таблица 4 – Результаты определения коэффициентов отражения на кусках при $\lambda=630$ нм (надежность 95 %).

| № | ρ , % | $\rho_{\text{ср}}$ | S | t | I | H, B | C |
|----|-----------------------------------|--------------------|------|------|------|------------|-----------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 1 | 57; 56,5; 57; 56,5 | 56,8 | 0,29 | 3,18 | 0,46 | 56,3; 57,2 | 0,51 |
| 2 | 47,5; 49; 50,5; 49; 53,5 | 49,9 | 2,27 | 2,78 | 2,82 | 47,1; 52,7 | 4,56 |
| 3 | 48,5; 53; 53,5; 43; 50 | 49,6 | 4,23 | 2,78 | 5,25 | 44,3; 54,9 | 8,54 |
| 4 | 48; 47; 48,5; 46,5 | 47,5 | 0,91 | 3,18 | 1,45 | 46,0; 49,0 | 1,92 |
| 5 | 45,5; 45; 41; 38,5; 51,5; 53 | 45,8 | 5,63 | 2,57 | 5,96 | 39,8; 51,7 | 12,4 1 |
| 6 | 44,5; 45,5; 46; 44 | 45,0 | 0,91 | 3,18 | 1,45 | 43,5; 46,5 | 2,03 |
| 7 | 46,5; 42,5; 41; 43,5 | 43,4 | 2,32 | 3,18 | 3,69 | 39,7; 47,1 | 5,36 |
| 8 | 41,5; 43,5; 42,5; 42 | 42,4 | 0,85 | 3,18 | 1,36 | 41,0; 43,7 | 2,02 |
| 9 | 36,5; 41,5; 35,5; 37,5 | 37,8 | 2,63 | 3,18 | 4,18 | 33,6; 41,9 | 6,97 |
| 10 | 34,5; 33; 34,5; 35 | 34,3 | 0,87 | 3,18 | 1,38 | 32,9; 35,6 | 2,53 |
| 11 | 32,5; 32,5; 33; 35,5 | 33,4 | 1,44 | 3,18 | 2,28 | 31,1; 35,7 | 4,30 |
| 12 | 35,5; 31; 33,5; 33,5 | 33,4 | 1,84 | 3,18 | 2,93 | 30,4; 36,3 | 5,52 |
| 13 | 32; 32,5; 32,5; 34,5 | 32,9 | 1,11 | 3,18 | 1,76 | 31,1; 34,6 | 3,37 |
| 14 | 33; 32,5; 32,5; 33 | 32,8 | 0,29 | 3,18 | 0,46 | 32,3; 33,2 | 0,88 |
| 15 | 32; 31; 35,5; 35,5; 30,5; 32,5 | 32,8 | 2,18 | 2,57 | 2,29 | 30,5; 35,1 | 6,65 |
| 16 | 31,5; 33; 31; 33 | 32,1 | 1,03 | 3,18 | 1,64 | 30,5; 33,8 | 3,21 |
| 17 | | 28,9 | | | | | |
| 18 | | 25,7 | | | | | |
| 19 | | 24,9 | | | | | |
| 20 | | 18,9 | | | | | |

Предварительными химическими анализами было установлено, что образцы 17, 18, 20 содержат повышенное количество MgO – более 1%, а образец 19 вообще является глиной. Поэтому в дальнейшем учитывались образцы 1-16, как содержащие наименьшее количество MgO и перспективные с точки зрения возможности обогащения. Данные, относящиеся к ним, были обработаны на ЭВМ. Приведенные результаты свидетельствуют о том, что среднее значения коэффициента отражения являются представительными по отношению к единичным определениям величины ρ , разброс экспериментальных данных удовлетворителен при вероятности 95 %.

О связи между коэффициентами отражения и химическим составом известняков. После определения цветовых показателей был произведен химический анализ проб известняка 1-16 на содержание

CaCO₃, MgO, R₂O₃ и HO в HCl. Результаты этих анализов приведены в табл. 5.

Таблица 5 – Химический состав известняков.

| № образца | Коэффициент отражения | Содержание, % | | | |
|-----------|-----------------------|-------------------|------|-------------------------------|------|
| | | CaCO ₃ | MgO | R ₂ O ₃ | HO |
| 1 | 56,8 | 98,95 | 0,67 | 0,16 | 0,17 |
| 2 | 49,9 | 98,85 | 0,70 | 0,19 | 0,31 |
| 3 | 49,6 | 97,82 | 0,67 | 0,27 | 0,48 |
| 4 | 47,5 | 97,03 | 0,51 | 0,61 | 0,93 |
| 5 | 45,8 | 98,91 | 0,41 | 0,16 | 0,56 |
| 6 | 45,0 | 98,57 | 0,56 | 0,29 | 0,18 |
| 7 | 43,4 | 98,77 | 0,55 | 0,22 | 0,34 |
| 8 | 42,3 | 98,85 | 0,47 | 0,11 | 0,21 |
| 9 | 37,8 | 98,27 | 0,41 | 0,16 | 0,25 |
| 10 | 34,3 | 98,54 | 0,86 | 0,14 | 0,15 |
| 11 | 33,4 | 98,22 | 0,43 | 0,36 | 0,24 |
| 12 | 33,4 | 98,13 | 0,57 | 0,36 | 0,15 |
| 13 | 32,9 | 98,79 | 0,60 | 0,19 | 0,17 |
| 14 | 32,8 | 98,74 | 0,69 | 0,26 | 0,31 |
| 15 | 32,8 | 98,61 | 1,00 | 0,16 | 0,15 |
| 16 | 32,1 | 98,40 | 0,78 | 0,15 | 0,23 |

Из приведенных данных видно, что четкая зависимость между коэффициентами отражения и содержанием в известняках перечисленных компонентов не прослеживается. Наиболее стабильные показатели относятся к содержанию CaCO₃ в известняке. Во всем диапазоне изменения величин коэффициента отражения содержание основного полезного вещества – CaCO₃ остается практически постоянным. Для различных значений коэффициента отражения содержание вредных и лимитируемых в гидроксиде кальция примесей – MgO, R₂O₃, HO колеблются, однако без видимой связи между ними. Наименьшие колебания для данных пределов изменения коэффициента отражения относятся к содержанию MgO в известняке: от 0,41 до 1,0 %. В значительно больших пределах колеблется содержание HO в HCl и R₂O₃ (от 0,15 до 0,93 и от 0,11 до 0,61 % соответственно). Таким образом, по цвету единичных разновидностей известняка трудно определить их пригодность для производства гидроксида кальция, в основном, из-за трудностей оценки качества известняка на содержание примесей. По содержанию основного вещества, как видно, все образцы, за исключением четвертого, пригодны для получения гидроксида кальция.

При использовании фотометрических сепараторов для сортиров-

ки материалов по цвету процесс обогащения зависит от настройки сепаратора, т.е. от задаваемой программы, в которой четко обуславливается желаемый порог разделения, определяемый в данном случае величиной коэффициента отражения. Иными словами, любую смесь разновидностей известняка возможно за одну стадию сортировки разделить на 2 продукта, причем граница раздела может быть задана в любой точке всего отрезка значения коэффициента отражения. Так, если задать порог разделения, равный 50 %, то в один продукт после сортировки будет выделен известняк с коэффициентом отражения более 50 %, в другой – с коэффициентом отражения менее 50 %. То есть, для данного случая в первый продукт попадут куски известняка с коэффициентом отражения 56,8 %, а во второй – сумма разновидностей известняка с коэффициентом отражения от 49,9 до 32,1 %. При пороге разделения 40 % в первый продукт попадут разновидности с коэффициентом отражения от 56,8 до 42,3 %, во второй продукт – с коэффициентом отражения от 37,8 до 32,1 %. В обоих рассмотренных случаях количество первого и второго продуктов будет неодинаковым, т.к. оно определяется количеством разновидностей известняка, входящих в каждый из продуктов. Таким образом, чтобы установить наиболее рациональный порог разделения по величине коэффициента отражения, необходимо определить, как будет изменяться химсостав смеси разновидностей известняка для различного положения этого порога.

Нами ранее было установлено, что качество известняка Каракубского, Тургоянского и Обидимского месторождений ухудшается с увеличением содержания темных оттенков в нем. Наилучший по качеству известняк относится к наиболее светлым разновидностям. Поэтому, определение изменения химсостава известняка будем вести, взяв за основу самую светлую разновидность (т.е., с наибольшим коэффициентом отражения), последовательно добавляя к ней более темные разновидности, т.е., имеющие уменьшающиеся значения коэффициента отражения.

Этому методу определения соответствуют вычисления, которые необходимо выполнить последовательно для всех компонентов по каждой разновидности известняка. В результате этих вычислений должна быть получена качественная характеристика смесей разновидностей известняка, в последующий состав каждой из которых нарастающим итогом входят все компоненты предыдущих разновидностей, начиная с первой. В соответствии с этим, необходимо было вычислить следующие величины:

$$\begin{aligned}
 &C_{1-2}, C_{1-3} \dots C_{1-16}, \\
 &M_{1-2}, M_{1-3} \dots M_{1-16}, \\
 &R_{1-2}, R_{1-3} \dots R_{1-16}, \\
 &H_{1-2}, H_{1-3} \dots H_{1-16},
 \end{aligned}$$

где: C – содержание CaCO_3 , %, M – содержание MgO , %; R – содержание R_2O_3 , %; H – содержание HO в HCl %, и для удобства анализа представить их в виде табл. 6.

Таблица 6 – Формулы для определения компонентов.

| № смеси | Коэффициент отражения, % | C_{1-i} | M_{1-i} | R_{1-i} | H_{1-i} |
|---------|--------------------------|------------|------------|------------|------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 | 56,8 | C_1 | M_1 | R_1 | H_1 |
| 2 | 49,9 | C_{1-2} | M_{1-2} | R_{1-2} | H_{1-2} |
| 3 | 49,6 | C_{1-3} | M_{1-3} | R_{1-3} | H_{1-3} |
| 4 | 47,5 | «» | «» | «» | «» |
| 5 | 45,8 | «» | «» | «» | «» |
| 6 | 45,0 | «» | «» | «» | «» |
| 7 | 43,4 | «» | «» | «» | «» |
| 8 | 42,3 | «» | «» | «» | «» |
| 9 | 37,8 | «» | «» | «» | «» |
| 10 | 34,3 | «» | «» | «» | «» |
| 11 | 33,4 | «» | «» | «» | «» |
| 12 | 33,4 | «» | «» | «» | «» |
| 13 | 32,9 | «» | «» | «» | «» |
| 14 | 32,8 | «» | «» | «» | «» |
| 15 | 32,8 | «» | «» | «» | «» |
| 16 | 32,1 | C_{1-16} | M_{1-16} | R_{1-16} | H_{1-16} |

Эти величины определены по следующим формулам:

$$C_{1-2} = \frac{C_1 B_1 + C_2 B_2}{B_1 + B_2}; \quad C_{1-3} = \frac{C_1 B_1 + C_2 B_2 + C_3 B_3}{B_1 + B_2 + B_3};$$

$$C_{1-n} = \frac{C_1 B_1 + C_2 B_2 + \dots + C_n B_n}{B_1 + B_2 + \dots + B_n}; \quad C_{1-i} = \sum_{i=1}^n C_i B_i / \sum_{i=1}^n B_i;$$

$$M_{1-i} = \sum_{i=1}^n M_i B_i / \sum_{i=1}^n B_i; \quad R_{1-i} = \sum_{i=1}^n R_i B_i / \sum_{i=1}^n B_i; \quad H_{1-i} = \sum_{i=1}^n H_i B_i / \sum_{i=1}^n B_i,$$

где: B – содержание данного компонента в каждой разновидности известняка; $\Pi = 16$ – количество исследуемых разновидностей известняка; $P_{\text{ср.}}$ – среднее значение коэффициента отражения, %.

Данные вычислений приведены в табл. 7.

Результаты обработки этих данных на ЭВМ показали, что между значениями коэффициента отражения и содержанием компонентов, относящихся к каждому из составов полученных смесей, имеется довольно тесная связь, которую можно описать различными аналитиче-

скими уравнениями. Так, например, одно из уравнений, обеспечивающих значение коэффициента корреляции 95,2%, имеет вид:

$$\rho = 441,2 M - 486,0 MH + 1754,6 RH - 9,9 CMR - 127,7.$$

Таблица 7 – Результаты вычислений коэффициентов.

| № смеси | $P_{cp.}$ | Средневзвешенное содержание, %. | | | | B_{1-i} | Π_i |
|---------|-----------|---------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------|
| | | C_{1-i} | M_{1-i} | R_{1-i} | H_{1-i} | | |
| 1 | 56,8 | 98,95 | 0,67 | 0,16 | 0,17 | 2,0 | 99,35 |
| 2 | 49,9 | 98,90 | 0,68 | 0,17 | 0,24 | 3,9 | 90,35 |
| 3 | 49,6 | 98,54 | 0,68 | 0,20 | 0,32 | 5,9 | 81,86 |
| 4 | 47,5 | 98,38 | 0,66 | 0,25 | 0,38 | 6,6 | 76,10 |
| 5 | 45,8 | 98,58 | 0,57 | 0,21 | 0,45 | 10,6 | 80,16 |
| 6 | 45,0 | 98,58 | 0,57 | 0,23 | 0,38 | 14,4 | 83,76 |
| 7 | 43,4 | 98,65 | 0,56 | 0,23 | 0,38 | 22,9 | 84,29 |
| 8 | 42,3 | 98,68 | 0,55 | 0,21 | 0,34 | 26,8 | 89,84 |
| 9 | 37,8 | 98,66 | 0,54 | 0,21 | 0,34 | 27,7 | 90,60 |
| 10 | 34,3 | 98,65 | 0,57 | 0,20 | 0,32 | 30,6 | 90,17 |
| 11 | 33,4 | 98,64 | 0,57 | 0,21 | 0,32 | 31,5 | 90,24 |
| 12 | 33,4 | 98,62 | 0,57 | 0,21 | 0,31 | 33,0 | 90,30 |
| 13 | 32,9 | 98,69 | 0,58 | 0,20 | 0,25 | 55,1 | 95,08 |
| 14 | 32,8 | 98,70 | 0,60 | 0,21 | 0,26 | 66,5 | 91,76 |
| 15 | 32,8 | 98,70 | 0,60 | 0,21 | 0,26 | 66,8 | 91,69 |
| 16 | 32,1 | 98,69 | 0,60 | 0,21 | 0,26 | 67,2 | 91,68 |

Наличие этой связи свидетельствует о том, что полученные смеси могут быть отделены одна от другой сортировкой по цветовому признаку.

Критериями для выбора порога разделения при обогащении известняка являются две величины:

1) Качественный состав выделенной смеси разновидностей известняка должен удовлетворять требованиям на карбонатное сырье для производства высококачественного гидрата окиси кальция.

2) Количество выделенной смеси должно быть, по возможности большим.

Из табл. 7 видно, что содержание основного полезного вещества $CaCO_3$ в приведенных составах смесей известняков во всех случаях практически одинаково и удовлетворяет требованиям на сырье для получения гидроксида кальция.

По примесям R_2O_3 все составы известняков также отвечают требованиям, предъявляемым к сырью для получения гидроксида кальция, причем изменение содержания этого компонента в различных составах незначительно.

Содержание нерастворимого в соляной кислоте осадка в составах смесей колеблется в большей степени, чем содержание R_2O_3 , однако эти колебания не выходят за пределы допускаемого содержания HO в сырье для гидрата окиси кальция.

Содержание MgO в составах смесей также изменяется незначительно.

Таким образом, касаясь методики выбора наиболее пригодного для производства гидроксида кальция состава известняка, необходимо в данном случае учитывать влияние на нее трех компонентов, представленных вредными примесями, т.к. по основному веществу пригодны все приведенные составы известняков.

Учет комплексного влияния всех примесей на состав смеси известняков проводился исходя из определения величины показателя качества смеси Π , числителем которого является содержание $CaCO_3$, знаменателем – сумма примесей MgO , R_2O_3 и HO :

$$\Pi = \frac{CaCO_3}{MgO + R_2O_3 + HO},$$

т.е. чем выше качество смеси, тем выше в ней должно быть содержание $CaCO_3$ и ниже содержание примесей, а, следовательно, тем выше должно быть значение показателя качества. Последние вычислялись для каждой из смесей по следующим выражениям:

$$\Pi_1 = \frac{C1}{M1 + R1 + H1}; \quad \Pi_2 = \frac{C2}{M2 + R2 + H2}; \quad \Pi_i = \frac{Ci}{Mi + Ri + Hi}.$$

Полученные результаты приведены в последнем столбце табл. 7. Как видно, наибольшее значение показателя равно 95,08. Оно соответствует случаю, когда в состав смеси будет входить 13 разновидностей известняка.

При этом выход обогащенного известняка из исходного материала составит 55,1 %. Эти данные соответствуют порогу разделения по величине коэффициента отражения, равному 32,9.

В реальных условиях работы сепаратора в обогащенный продукт смогут попадать также, частично или полностью, разновидности 14 и 15, которые имеют коэффициент отражения 32,8 %. Вследствие этого, может несколько увеличиться выход обогащенного известняка практически при том же его качестве.

Выводы. Проведенные лабораторные исследования по определению возможности сортировки известняка по цветовому признаку с целью обогащения его до кондиций, соответствующих требованиям на карбонатное сырье для использования в производстве гидроксида кальция, позволили установить следующее:

– коэффициент отражения известняков различных месторождений изменяется в довольно широких пределах: от 63,8 до 14 %;

– четкой связи между коэффициентом отражения и содержанием различных компонентов в этом известняке для отдельных его цветовых разновидностей не выявлено:

– установлена определенная связь между суммарным составом смесей, образованных из всех последовательно учитываемых отдельных цветовых разновидностей известняка, и величиной коэффициента отражения, на основании чего сделано заключение, что эти известняки возможно обогащать по цветовому признаку:

– наиболее рациональная величина порога разделения соответствует значению коэффициента отражения порядка 33 %:

– при этом из исходного известняка можно выделить 55-67% обогащенного известняка следующего состава: CaCO_3 – 98,7; MgO – 0,58-0,60; R_2O_3 – 0,20-0,21; НО – 0,25-0,26 .

– для условий наименьшего содержания MgO , равного 0,54%, которому соответствует порог разделения 37,8 %, из исходного известняка возможно выделить 27,7 % обогащенного продукта, которого достаточно, чтобы получить более 50 тыс. тонн гидроксида кальция.

Список литературы: 1. *Шапорев П.В., Боглаенко Д.В., Райко В.Ф.* Анализ экологической опасности производства высокодисперсного гидроксида кальция и пути ее уменьшения // Вестник Национального технического университета "ХПИ". – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2006. – №44. С. 85-95. 2. *Ассанович К.С.* Применение фотометрического сепаратора с высокой разрешающей способностью для сортировки руд, отличающихся по цвету / Сб. Электронные методы обогащения. – М.: ВНИИХТ, 1978.

Поступила в редколлегию 01.02.2010