

## СОВРЕМЕННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА

### Технические науки

#### ОПТИМАЛЬНЫЕ УСИЛИЯ РЕЗАНИЯ КОРНЕПЛОДОВ

Исаев Ю. М., Зотов Е. И., Хабарова В. В.,  
Гришина Е. В.

*Ульяновская государственная  
сельскохозяйственная академия,  
Ульяновск, Россия*

Основной задачей теоретических и экспериментальных исследований процесса измельчения корнеплодов является снижение его энергоемкости. Наиболее рациональным способом измельчения для корнеплодов является резание.

Проведенные исследования и анализ геометрических параметров лезвия ножа в плоскости, перпендикулярной к плоскости резания, позволили найти наиболее рациональные значения параметров. Рассмотрим случай расположения ножей под углом  $\alpha$  относительно движущегося транспортера со скоростью  $v_r$  вдоль оси  $Ox$ .

Для определения взаимосвязи между силами, возникающими в процессе резания, выделим сечение измельчаемого материала в виде цилиндрического тела и сведем задачу к плоскому случаю.

Приложенными к корнеплоду силами будут:  $P=mg$  – сила тяжести;  $N_2$  – нормальная реакция лезвия ножа;  $N_1$  – нормальная реакция поверхности транспортера;  $F_2=f_2N_2$  – сила трения корнеплода о лезвие ножа;  $F_1=f_1N_1$  – сила трения корнеплода о поверхность транспортера

Рассмотрим равновесие цилиндрического тела, на которое действуют заданные силы. Все силы лежат в одной плоскости и сходятся в точке  $C$ .

$$\sum F_{ky} = 0; \quad N_2 \cos \alpha - F_2 \sin \alpha + P - N_1 = 0, \quad (1)$$

$$\sum F_{kx} = 0; \quad F_1 - F_2 \cos \alpha - N_2 \sin \alpha = 0. \quad (2)$$

Решая систему (1), (2) относительно реакции  $N_2$ , для того, чтобы процесс резания имел место, необходимо, чтобы сила трения корнеплода о поверхность транспортера удовлетворяла условию:

$$F_1 > F_2 \cos \alpha - N_2 \sin \alpha.$$

Нормальная реакция  $N_2$  в этом случае должна удовлетворять условию:

$$N_2 < f_1 P \left( (f_2 - f_1) \cos \alpha + (1 + f_1 f_2) \sin \alpha \right) \quad (3)$$

А значит и сила резания должна удовлетворять данному соотношению (3), которое в зависимости от угла наклона ножей к плоскости транспортера при различных коэффициентах трения, позволяет определить оптимальные параметры процесса резания.

#### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДА САХАРНОГО ПРОИЗВОДСТВА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ЦЕМЕНТА ПО МОКРОМУ СПОСОБУ

Классен В. К., Классен А. Н., Беляева М. В.,  
Киреев Ю. Н.

*Белгородский государственный технологический  
университет им. В. Г. Шухова,  
Белгород, Россия*

Производство цемента является одной из наиболее материало- и энергоемких отраслей промышленности. Для получения 1 тонны цемента требуется до 3 тонн сырьевых материалов. Поскольку запасы природного сырья постепенно истощаются, то использование различных отходов с целью замены природных компонентов является весьма актуальным.

В связи с этим целью настоящей работы являлось исследование возможности замены части карбонатного компонента сырьевой смеси на отход сахарного производства – дефекаат. В настоящее время дефекаат направляется в отвал, занимая полезные площади, при высыхании дефекаата образуется пыль, ухудшающая экологическую обстановку [1].

Результаты исследований показали (см. табл. 1, рис. 1), что отход содержит 48,4% CaO в виде CaCO<sub>3</sub> (линии 3,86; 3,04; 2,50; 2,28; 2,09; 1,91; 1,87 Å), 2,65% SiO<sub>2</sub> в виде кварца (линия 3,36 Å), 1,12% MgO и около 1,5% других оксидов.

Если бы дефекаат был представлен только кристаллическим кальцитом CaCO<sub>3</sub>, то потери при прокаливании должны были составлять 38,03%. Фактически потери равны 45,6%, т.е. разница составляет 7,57% органических веществ (нерастворимые сахара кальция и магния и другие). Подтверждением наличия органических соединений является экзотермический эффект выгорания на кривой ДТА при 330°C (см. рис. 1). При тем-

пературе 930°C наблюдается эндоэффект разложения кальцита  $\text{CaCO}_3$ .

Вскрышной мел Стойленского горно-обогатительного комбината (СГОКа) чистый, содержит 54,07%  $\text{CaO}$  и около 2,6% примесей. На рентгенограмме все отражения принадлежат кальциту  $\text{CaCO}_3$ .

Влажность природного мела СГОКа составила 21,8%, а дефеката из отвалов – 25%. Именно высокая влажность дефеката предопределяет его использование в производстве цемента по мокро-

му способу. Чтобы определить влияние дефеката на реологические свойства сырьевого шлама исследовалась растекаемость мелового, дефекатного и мело-дефекатного (мел: дефекат = 1: 1) шламов. Установлено, что растекаемость мелового шлама 60мм достигается при влажности 41%, дефекатного шлама – при влажности 44,7%, а мело-дефекатного – при влажности 42%. Вероятно, меньшая растекаемость мело-дефекатного шлама обусловлена влиянием органических веществ, присутствующих в дефекате.

Табл. 1. Химический состав сырьевых материалов, %

Материал	$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{CaO}$	$\text{MgO}$	$\text{SO}_3$	$\text{R}_2\text{O}$	ппп	прочее	Сумма
Дефекат	2,65	0,56	0,40	48,40	1,12	0,53	0,01	45,6	0	99,27
Мел СГОКа	1,33	0,51	0,31	54,07	0,29	0,09	0,06	42,85	0	99,51
Глина СГОКа	68,15	13,05	4,53	1,63	1,20	0,10	1,60	6,84	0	97,10
Шлак отвальный	20,41	4,65	17,11	38,47	7,4	0	0	7,69	4,27	100
Глина высокоалюминатная	35,00	22,75	1,46	2,84	0,36	0,04	0,15	37,23	0	99,83

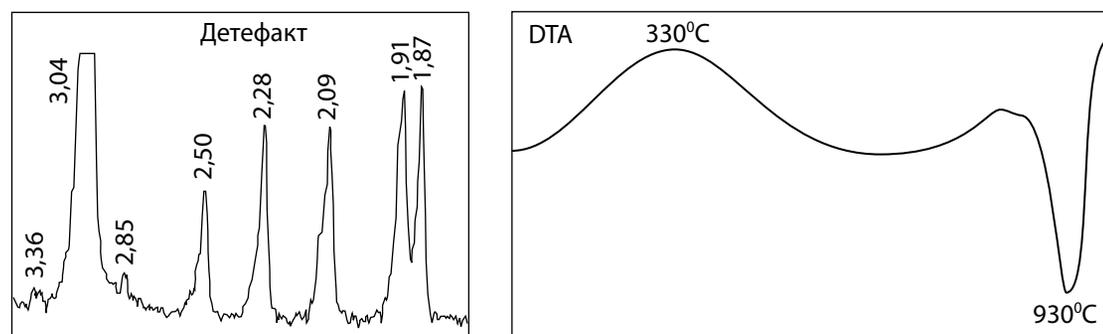


Рис. 1. Рентгенограмма и ДТА дефеката

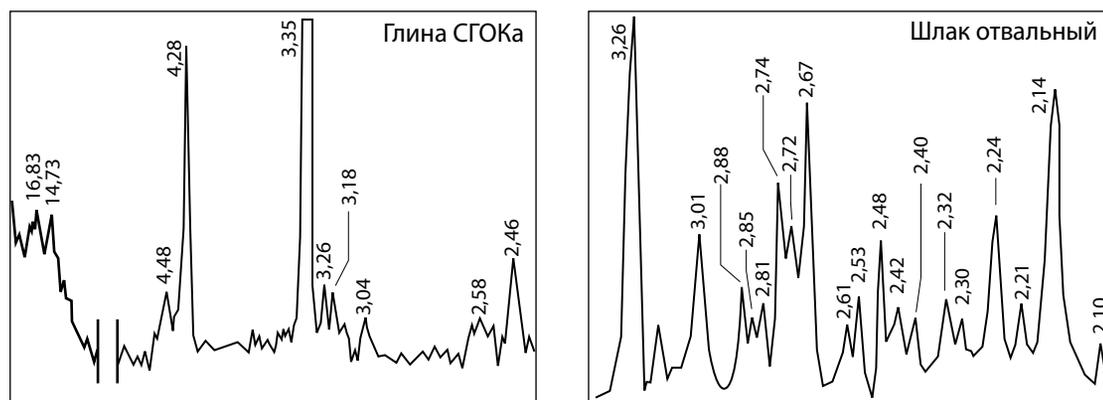


Рис. 2. Рентгенограмма глины и отвального шлака

В качестве алюмосиликатного компонента сырьевой смеси использовалась глина СГОКа, содержащая 68,15%  $\text{SiO}_2$  и 13,05%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , а также  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (4,53%),  $\text{CaO}$  (1,63%) и  $\text{R}_2\text{O}$  (1,6%). Как видно, глина малоалюминатная, отношение  $\text{SiO}_2$  к  $\text{Al}_2\text{O}_3$  составляет 5,2, поэтому для получения оптимального состава сырьевой смеси необходимо введение алюмосодержащей добавки. На рентгенограмме глины (рис. 2) основные отражения относятся к кварцу  $\text{SiO}_2$  (линии 4,28; 3,35; 2,46 Å) и монтмориллониту  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  (линии 16,83-14,73; 4,48; 3,18; 3,04; 2,58 Å). Глинистые минералы ввиду несовершенства структуры и небольшого количества на рентгенограмме проявляются слабо. Щелочи в глине представлены в виде калиевого полевого шпата  $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$  (линии 3,26; 3,18 Å).

В качестве железосодержащей добавки использовался отвальный шлак электросталеплавильного производства. Основными оксидами в шлаке являются  $\text{CaO}$  (38,47%),  $\text{SiO}_2$  (20,41%) и  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (17,11%). На рентгенограмме основные отражения принадлежат гидросиликату кальция  $\text{C}_2\text{SH}$  (А) (линии 3,26; 2,88; 2,81; 2,74; 2,53; 2,48; 2,42; 2,24 Å), двухкальциевому силикату  $\gamma\text{-C}_2\text{S}$  (линии 3,01; 2,74; 2,72 и 2,32 Å), кальций-магниевым силикатам  $\text{C}_7\text{MS}_4$  (линии 2,74; 2,72; 2,67; 2,24; 2,21 Å) и  $\text{C}_5\text{MS}_3$  (линии 2,88; 2,74; 2,72; 2,67; 2,24 Å) и периклазу  $\text{MgO}$  (линия 2,10 Å). Немного содержится мелилита  $\text{C}_2$  (А, М)  $\text{S}_2$  (линии 2,85; 2,40; 2,30 Å) и поргландита  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (линии 3,09; 2,61 Å). Кроме того, шлак содержит  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  в виде вюститита  $\text{FeO}$  (линия 2,14 Å) и гематита  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (линии 2,67; 2,53 Å).

Для получения оптимального содержания  $\text{Al}_2\text{O}_3$  в сырьевой смеси дополнительно использовалась высокоалюминатная глина с содержанием 22,75%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и отношением  $\text{SiO}_2$  к  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , равным 1,54.

Сырьевые смеси рассчитывались с  $\text{KH} = 0,92$ ,  $n = 2,2$  и  $p = 1,3$  на основе смеси мела и дефектата в соотношении 1: 1 (№1) и на основе чистого дефектата (№2). Установлено, что в сырьевой смеси №1 содержание  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 3,51$  и  $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 2,70\%$ , при использовании чистого дефектата содержание  $\text{Al}_2\text{O}_3$  снижается до 3,39% и  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  до 2,61%. Поэтому сырьевая смесь №2 рассчитывалась с  $n = 2,15$ .

Влияние дефектата на процесс минералообразования исследовалось на основе сырьевых смесей №1 и №2, содержащих различное количество дефектата. Реакционная способность сырьевых смесей определялась по содержанию  $\text{CaO}_{\text{св}}$  при температурах

1250, 1350 и 1450°C. Установлено, что при температуре 1250°C содержание  $\text{CaO}_{\text{св}}$  в спеке смеси №1 равно 18,9%, а в спеке смеси №2-16,1% (рис. 3). С появлением клинкерного расплава возрастает интенсивность процесса минералообразования. Более ускоренное усвоение  $\text{CaO}$  наблюдается в смеси №2 и при 1350°C, содержание  $\text{CaO}_{\text{св}}$  в спеке смеси №1 составило 11,2%, а в спеке смеси №2-8,1%. При температуре 1450°C без выдержки в спеке смеси №2 также наблюдается большая скорость усвоения  $\text{CaO}_{\text{св}}$ . Так, содержание  $\text{CaO}_{\text{св}}$  в спеке смеси №1 составляет 4,7%, в спеке смеси №2-1,5%.

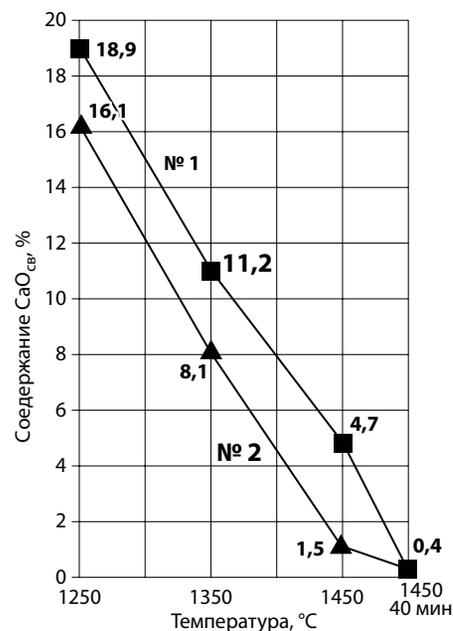


Рис. 3. Усвоение  $\text{CaO}_{\text{св}}$  при нагревании сырьевых смесей

Таким образом, процессы минералообразования в сырьевой смеси, содержащей 100% дефектата, протекают интенсивнее, чем в сырьевой смеси, содержащей 50% дефектата, что подтверждается рентгенофазовым анализом спеков. Так, при всех исследуемых температурах спеки смеси №2 содержат меньше неусвоенного  $\text{CaO}$  и больше образовавшихся клинкерных минералов  $\text{C}_3\text{S}$  и  $\text{C}_2\text{S}$ .

Обжиг цементных клинкеров проводился одновременно в силитовой печи при температуре 1450°C с выдержкой 40 минут. Все клинкера хорошо обожглись, содержание свободной извести — менее 1%. Расчетное содержание алита  $\text{C}_3\text{S}$  в клинкере №1 на основе смеси мела и дефектата в соотношении 1: 1 равно 61%, белита  $\text{C}_2\text{S}$  — 17%, трехкальциевого алюмината  $\text{C}_3\text{A}$  8%, а сумма минералов плавней (трехкальциевого алюмината  $\text{C}_3\text{A}$  и четырехкальциевого алюмоферрита  $\text{C}_4\text{AF}$ )

составляет 21%. В клинкере №2 на основе чистого дефеката немного меньше  $C_3S$  (60%) и  $C_2A$  (7,8%) и соответственно сумма минералов плавней (20%), но больше белита (18%). Во всех клинкерах повышенное количество  $MgO$ , в клинкере №1-2,28%, а в клинкере №2-2,79%. Сумма нежелательных оксидов  $SO_3$  и  $R_2O$  соответственно равна 0,73 и 0,96%.

Прочность лабораторных цементов с удельной поверхностью  $300 \pm 10$  м<sup>2</sup>/кг определялась в малых образцах размером  $1,41 \times 1,41 \times 1,41$  см из теста нормальной густоты состава 1: 0. Для сравнения также в малых образцах заформовали промышленный цемент ПЦ 500-Д0 с удельной поверхностью 290 м<sup>2</sup>/кг и прочностью 52,6 МПа. Затем прочность лабораторных цементов соотносилась с прочностью промышленного цемента, определенной в малых образцах и по ГОСТ 310.4-85.

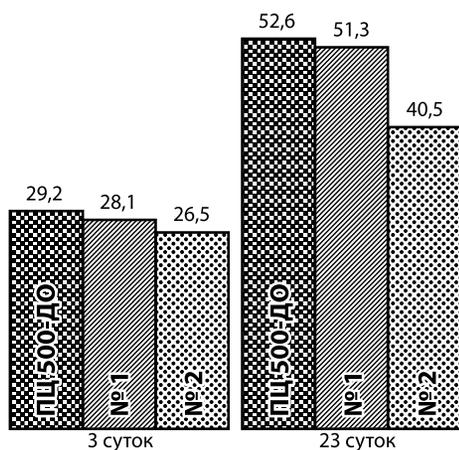


Рис. 4. Прочность лабораторных цементов, МПа

Прочность промышленного цемента ПЦ 500-Д0, определенная по ГОСТу, в возрасте 3 суток составила 29,2 МПа, а в 28 суток – 52,6 МПа. Как видно, прочность лабораторного цемента №1 на основе смеси мела и дефеката в соотношении 1: 1 в возрасте 3 суток составляет 28,1 МПа, к 28 суткам достигает 51,3 МПа, что соответствует марке 500 (см. рис. 4). Использование только дефеката в сырьевой смеси №2 приводит к снижению прочности цемента в 3 суток до 26,5 МПа, а в 28 суток – до 40,5 МПа.

#### Выводы

Использование дефеката в качестве заменителя карбонатного компонента в количестве 50% позволяет получить сырьевой шлам с требуемыми реологическими свойствами. При обжиге

мело-дефекатного шлама получается высококачественный цемент марки 500. При использовании чистого дефеката в качестве карбонатного компонента сырьевой смеси получается портландцемент только марки 400.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Силин, П. И. Технология сахара. – М.: Пищевая промышленность, 1967. – 624 с.

#### К ВОПРОСУ ВЫБОРА РАЦИОНАЛЬНОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ ДОБЫЧИ БЛОКОВ ПРИРОДНОГО КАМНЯ

Косолапов А. И., Косолапова С. А.,  
Калиновская Т. Г.

*Институт горного дела, геологии  
и геотехнологий Сибирского федерального  
университета, Красноярск, Россия*

Одним из показателей, характеризующих технологию разработки месторождений природного камня, служит интенсивность добычи блоков, оцениваемая через скорость продвижения фронта работ, которая зависит как от продолжительности отдельных процессов добычи, так и интервалов времени между ними. Поскольку исследованиями авторов было доказано, что уменьшение интенсивности горных работ позволяет снизить уровень конечных напряжений в камне, а, следовательно, увеличить выход продукции из него, то вопрос выбора рациональной интенсивности имеет важное практическое значение.

Для определения необходимых для этого численных зависимостей на карьерах, разрабатывающих Кибик-Кордонское месторождение мрамора, и ряде гранитных месторождений на протяжении многих лет исследовали динамику коэффициента выхода блоков. При этом были использованы данные маркшейдерских замеров, ретроспективного и перспективного прогноза коэффициента выхода блоков с учетом элементов трещин с их координатной привязкой к площадкам уступов.

В результате было установлено, что относительное снижение коэффициента выхода блоков достигает максимума в июле – месяце с наиболее благоприятными климатическими условиями. Для объяснения этого феномена, по данным десятилетних метеонаблюдений рассчитали значения термических напряжений в мраморе на разной глубине в течение года и определили,