

УДК 666.92

Э. И. Левданский, профессор; А. Э. Левданский, ст. преподаватель;  
А. И. Вилькоцкий, ассистент

### НЕКОТОРЫЕ ПУТИ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ ВЛАЖНЫХ МЕЛОВ

In this article some ways of energy saving are considered at processing damp chalk. The advantage of a dry way of manufacture is shown in comparison with wet. The economic way of conversion of manufacture of lime carbonate is offered inform on a dry way of manufacture.

В Республике Беларусь мел является одним из основных видов сырья при производстве извести и цемента. Кроме того, сухой очищенный мел применяется в производстве стекла, комбикормов и многих других производствах. В республике разведано значительное количество месторождений мелов, имеющих промышленное значение, однако большим недостатком всех залежей является рыхлость и высокая влажность мела, достигающая 30%. Переработка таких мелов при производстве извести, цемента, кормового мела весьма затруднена из-за налипания его на поверхности оборудования, забивки течек, трудности помола и т.д. Поэтому большинство предприятий в настоящее время переработку таких мелов осуществляют по "мокрому" способу, когда мел из карьера загружают в "болтушку", куда добавляется вода, и при непрерывном перемешивании приготавливают хорошо подвижную водную суспензию, которую подают во вращающуюся барабанную печь или в распылительную сушилку. Естественно, при таком способе большое количество тепла требуется затратить на испарение влаги, расход топлива получается очень высоким, а продукция дорогой и неконкурентоспособной. Так, например, для получения 1 кг извести на процесс декарбонизации теоретически требуется затратить 3185 кДж тепла. В реальных условиях для производства 1 кг извести из известняка в шахтных печах, влажность которого обычно составляет 4 – 6 %, расходуется около 4000 кДж тепла. В республике залежей известняка, имеющих промышленное значение, не обнаружено. При существующем производстве извести из мела во вращающихся печах по мокрому способу расходуется более 9000 кДж тепла. При таком расходе тепла известь и все силикатные изделия на её основе (кирпич, блоки, панели и т.д.) являются дорогими.

Следовательно, перевод предприятий, занимающихся переработкой влажных мелов, на сухой способ работы является актуальнейшей проблемой промышленности строительных материалов. Однако для осуществления этого должна быть создана высокоэффективная энергосберегающая технология подсушки мела с применением простого и надёжного оборудования. При этом необходимо учитывать опыт работы в недалёком прошлом известковых барабанных вращающихся печей, работавших по сухому способу на ряде предприятий стройматериалов, например в г. Гродно, в результате чего они были вынуждены перейти на мокрый способ производства. На этих предприятиях проектом была предусмотрена подсушка влажного мела перед подачей его в печь отходящими из печи газами в конвейерном кальцинаторе. Для этого глыбы влажного мела разбивались рыхлительной машиной на куски размером до 150 мм и ленточным конвейером подавались на подвижную колосниковую решётку кальцинатора. Дымовые газы из печи, поступая сверху в кальцинатор, дважды в поперечном направлении проходили через слой материала, движущегося на колосниковой решётке, отдавая своё те-

пло на нагрев и испарение влаги из мела. Однако переувлажненный кусковой мел быстро забивал щели колосникового конвейера и проход дымовых газов через кальцинатор был затруднён, что сильно нарушало тепловой режим печи. Кроме того, время контакта больших кусков влажного мела с дымовыми газами очень мало, и, естественно, сушка была неэффективной. После конвейерного кальцинатора мел поступал в печь весьма неоднородным как по размерам кусков, так и по влажности, и, естественно, достичь хорошего качества извести на выходе из печи весьма трудно. Кроме того при таком неоднородном составе сырья, подаваемого в печь, наблюдался большой унос пыли из печи, и система пылеочистки не обеспечивала её полное улавливание. Все эти отрицательные явления не позволяли известковым цехам работать стабильно и после проведённой реконструкции их перевели на мокрый способ работы.

Если проанализировать всё вышеизложенное с учётом сегодняшних реалий, когда стоимость топлива составляет основную статью в себестоимости извести, можно сделать следующий вывод. Идея создания производства извести из влажных мелов по сухому способу была правильной и экономически обоснованной, но технические решения по осуществлению этой идеи были неудачными. Например, идея использования тепла отходящих газов печи для подогрева и сушки мела является правильной, однако применение для этих целей конвейерного кальценатора было необоснованным. Конвейерный кальценатор предназначен для подогрева и сушки гранулированных материалов или кускового известняка с размером частиц 7–15 мм и 10–20 мм соответственно, и опыт эксплуатации показывает, что при таком грансоставе материала процесс теплообмена в данном агрегате происходит весьма интенсивно. Достоинством этого агрегата является и то, что при работе на гранулированном материале он является прекрасным фильтром, позволяющим обеспылить греющие газы в слое материала, благодаря чему конечная запылённость газа невелика. В защиту проектировщиков следует отметить, что до настоящего времени надёжного оборудования для гранулирования и сушки кускового мела с начальной влажностью 25 – 30 % не имеется.

Однако проблема снижения себестоимости продукции, получаемой из мела, является весьма острой и решение её не терпит отлагательств. Решить её можно только путём возврата к сухому способу производства с применением высокоэффективных энергосберегающих технологий. Одна из таких технологий [1] предусматривает сушку и измельчение влажного мела осуществлять в мельнице “Аэрофол” с продувкой её горячими газами. Окончательный домол и досушку производить в молотковых мельницах. Декарбонизацию порошкового мела предлагается производить в шахтном аппарате с циклонно-каскадными теплообменниками. Достоинством такой технологической схемы является то, что нагрев, сушка и декарбонизация происходят практически за считанные минуты. Однако такая технология имеет и существенные недостатки. Чтобы перейти на такую технологию, необходимо практически построить новое предприятие с закупкой по импорту многих агрегатов (мельницы, электрофильтры, дымососы и т.д.). Так как все процессы измельчения, сушки, подогрева, декарбонизации ведутся в аэровзвешенных потоках, то это потребует создания мощных высокоэффективных систем пылеочистки. Привод мельниц, дымососов, электрофильтров потребуют большего расхода электроэнергии.

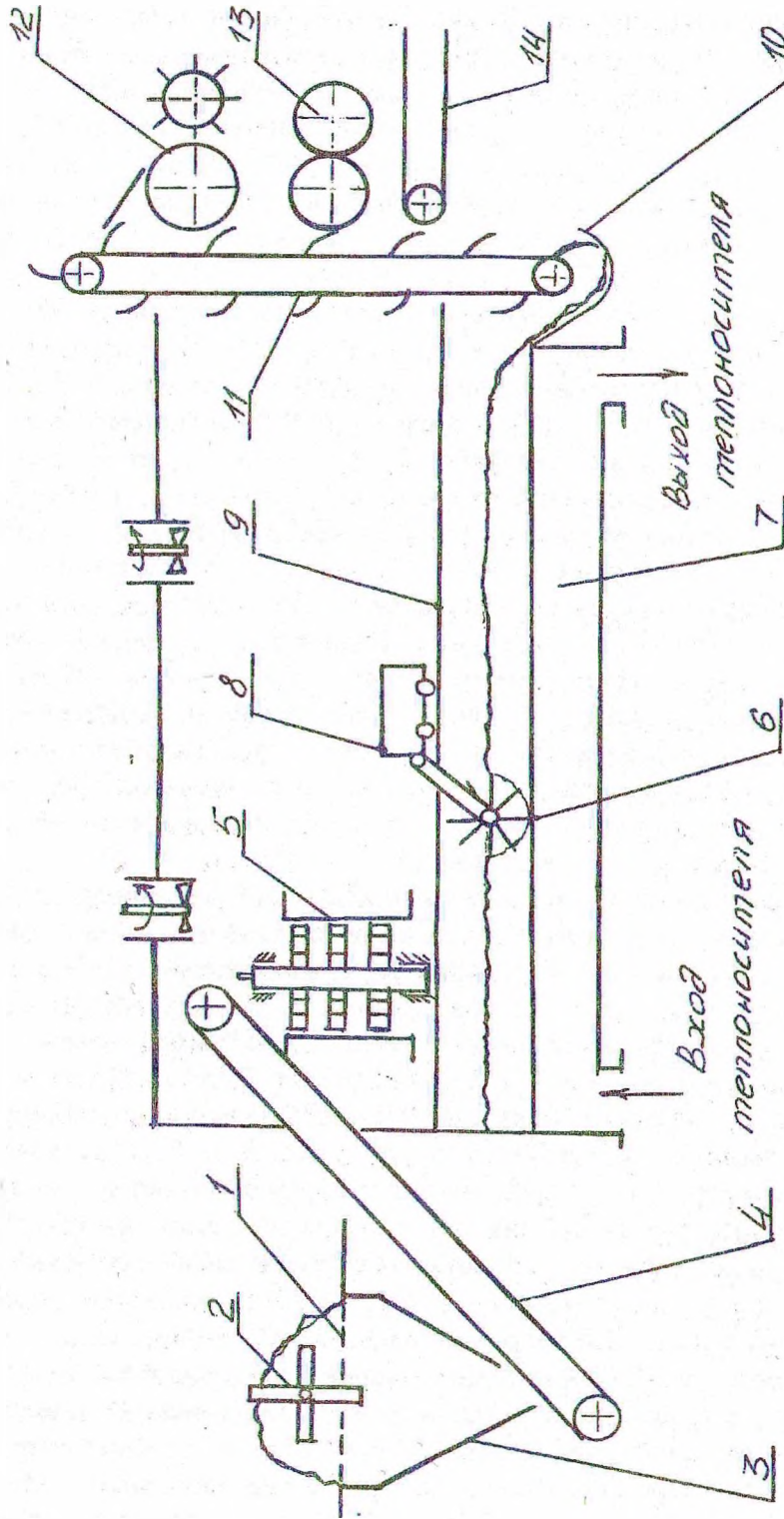


Рис. Схема процесса подсушки мела:

1 – решётка бункера; 2 – рыхлитель; 3 – бункер; 4 – ленточный конвейер; 5 – роторно-целная дробилка; 6 – металлический пол; 7 – каналы; 8 – ворошитель; 9 – рельсовый путь; 10 – приемок; 11 – элеватор; 12 – камневыведительные валки; 13 – дырчатые валки; 14 – транспортер

Нами предлагается более простая технология перевода производства извести на сухой способ. Согласно такой технологии, первой стадией является подсушка влажного мела до влажности 15–17%. Проведённые нами исследования показывают, что при такой влажности мел хорошо гранулируется. В качестве гранулятора можно использовать дырчатые вальцы, бегуны с отверстиями в днище, среднеходовые мельницы с перфорированным вращающимся столом, шнековый пресс с перфорированной головкой и т.д. Исследования показывают, что при прессовании на дырчатых валках образуются цилиндрики длиной 5–30 мм и их прочность составляет 0,4–0,6 МН/м<sup>2</sup>. Дальнейшая переработка рассыпчатых гранул мела не составляет трудностей и возможна различными способами, на которых остановимся несколько позже, а вначале рассмотрим процесс подсушки мела с начальной влажности 27% до влажности 15–17%, схема которого представлена на рисунке. Начало технологической схемы аналогично той, которая существовала, например в г. Гродно, при сухом способе производства извести. Мел из карьера доставляется автотранспортом на завод и сгружается на решётку 1 бункера, где глыбы рыхлителем 2 разбиваются на куски размером до 150 мм, проваливаются вниз бункера 3 и попадают на ленточный конвейер 4, который доставляет материал в напольную сушилку. Однако прежде чем попасть в сушилку, материал проходит роторно-цепную дробилку 5 конструкции Могилёвского машиностроительного института [2]. Дробилка состоит из цилиндрического вертикального корпуса с вращающимся по центру валом. На валу в несколько ярусов закреплены цепи. При прохождении кусков материала через дробилку сверху вниз он под многократными ударами цепей разрушается на частицы размером менее 5 мм. При диаметре корпуса 1 метр дробилка обеспечивает производительность 20 т/час, а удельный расход электроэнергии составляет около 1 кВт/ч на тонну мела. Такая дробилка надёжна в работе, и забивка её влажным мелом исключается, так как цепи с высокой скоростью вращаются по всему внутреннему диаметру. Измельчённый в роторно-цепной дробилке материал на выходе из неё, разлетаясь в разные стороны, осаждаётся на металлический пол сушилки.

Сушилка представляет собой здание высотой около 3 метров с обогреваемым металлическим полом 6. Для обогрева пола под ним имеются каналы 7, куда подаётся теплоноситель, например дымовые газы, отходящие из печи обжига. Для снижения потерь тепла в канале до минимума снизу он тщательно теплоизолируется. Площадь металлического пола, то есть теплопередающей поверхности, сушилки зависит прежде всего от производительности и температуры теплоносителя. Расчёты показывают, что для подсушки 30 тонн в час влажного мела с 27% до 16% влажности отходящими из печи газами с температурой 350 °С требуется иметь сушилку с обогреваемым полом шириной 10 и длиной 45 метров. Для периодического перемешивания материала с целью интенсификации процесса теплообмена, а также для продвижения материала по длине обогреваемого пола предлагается использовать ворошитель 8, состоящий из мостовой тележки, движущейся по рельсовому пути 9. К тележке шарнирно присоединён вал с лопастями, который с помощью гидроцилиндров может подниматься вверх или опускаться до обогреваемого пола. При медленном движении ворошителя от места выгрузки материала к месту загрузки вал с лопастями опускается вниз и приводится во вращение. В этом случае материал продвигается на некоторое расстояние вперёд и одновременно перемешивается. При достижении другого конца напольной сушилки ворошитель меняет направление движения на обратное, а вал с лопастями поднимается вверх. При достижении ворошителем разгрузочной стороны процесс повторяется. Продвижение ворошителя по рельсовому пути, а также опускание и вращение вала легко

автоматизируются. Ворошители такой конструкции широко используются во многих производствах, например при приготовлении и сушке солода.

Вместо конструкции ворошителя, приведённой на рисунке, можно использовать скребковые цепные конвейеры, расположив их над полом в несколько рядов по длине сушилки. В случае, если при толщине слоя материала на обогреваемом полу 0,1 метра скорость движения скребков составит 0,2–0,3 метра в минуту, материал будет медленно продвигаться впереди постоянно перемешиваться, благодаря чему процесс сушки интенсифицируется. В конце материал сталкивается с пола сушилки в приямок 10, шнеками продвигается к центру и далее элеватором 11 поднимается вверх. С элеватора подсушенный мел проходит камневыделительные валки 12 и далее поступает на дырчатые валки 13, где происходит его гранулирование, после чего по транспортёру 14 мел направляется на дальнейшую переработку. Возможны и другие способы перемешивания и продвижения материала по обогреваемому металлическому полу сушилки.

Наиболее простой способ дальнейшей переработки – это подача мела во вращающуюся барабанную печь. В этом случае производительность печи повысится на 20–25 процентов. Нами произведён расчёт теплового баланса производства извести по такому способу. Дымовые газы на выходе из печи должны иметь температуру 350 °С, а после прохождения каналов напольной сушилки температура их будет 120 °С.

При такой схеме для производства 1 тонны извести будет расходоваться 6880 кДж тепла, или 235 кг условного топлива. Возможен вариант и с использованием конвейерного кальценатора. В этом случае гранулированный мел после подсушки в напольной сушилке поступает на конвейерный кальценатор, где происходит окончательная его сушка и подогрев, и далее в печи происходит процесс декарбонизации. Печь в этом случае может быть значительно короче, а основной поток пыли, уносимой газами из печи, осядет в слое материала, находящемся на конвейере кальценатора.

Напольную сушилку можно использовать и при производстве кормового мела. В этом случае для досушки мела вместо печи следует использовать барабанную сушилку или, ещё лучше, с целью исключения уноса пыли, конвейерную. После помола кормовой мел следует очистить от примесей на высокопроизводительном ситовом грохоте конструкции швейцарской фирмы “Бюлер”.

Использование барабанных вращающихся печей для получения извести, на наш взгляд, является не совсем удачным решением. Потери тепла в окружающую среду в этой печи составляют 20–30%, большой расход электроэнергии на её привод, высокая металлоёмкость, большие капитальные затраты – всё это заставляет многих исследователей думать об её замене другими конструкциями печей.

Представляют практический интерес наши исследования по обжигу извести в конвейерной щелевой туннельной печи. Такие печи широко используются в керамической промышленности для обжига плитки. Температура в печи в зоне обжига составляет 1000 – 1100 °С, а сетчатый конвейер выполнен из нержавеющей сетки. Поскольку газовые горелки в печи установлены как над, так и под сетчатым конвейером и мел находится на сетке в виде небольших цилиндров, насыпанных хаотично равномерным слоем небольшой (20–60 мм) толщины, то процесс декарбонизации идёт весьма интенсивно. Исследования процесса декарбонизации проводились нами на промышленной щелевой туннельной печи, предназначенной для обжига плитки для полов. Общая длина печи, включая зоны сушки, обжига и охлаждения, составляла 60 м, а скорость сетчатого конвейера – 2 м/мин. Таким образом, время нахождения гранул в печи равно 30 минутам. Температура в печи в зоне обжига составляла 1050 °С. Обжигу в печи

подвергались гранулированные цилиндры мела диаметром 8, 12, 16, 20 мм. Результаты исследований степени декарбонизации в зависимости от диаметра гранул показывают, что степень декарбонизации гранул диаметром 8 мм достигала 100%, в то время как декарбонизация гранул диаметром 20 мм достигала только 40%. Следовательно для гранул такого диаметра зона обжига должна быть более длинной. Так как движение газовой фазы и материала в печи является противоточным, можно вести процесс обжига при высокой экономии топлива. Охлаждение обожжённой извести происходит за счёт подогрева воздуха, поступающего на горение, а тепло дымовых газов используется на испарение влаги из мела и подогрев его перед обжигом. Таким образом, по расходу топлива производство извести данным способом приближается к производству в шахтных печах. Дымовые газы, движущиеся в печи, контактируют не с пылевидным мелом, а с мелом, спрессованным в гранулы, которые не разрушаются даже после обжига, поэтому унос пылевидных частиц извести и мела с дымовыми газами практически исключается. Конструкция печи довольно простая, и в Беларуси накоплен опыт изготовления и эксплуатации таких печей. Конечно, при загрузке сплошного слоя мела нагрузка на конвейер возрастёт, и необходимо будет увеличить диаметр проволок сетчатого конвейера, а также усилить опорные ролики. Вместо сетчатого конвейера можно использовать пластинчатый, например, как в агломерационной машине по производству аглопорита.

Помол гранул извести после печи, а также высушенного кормового мела следует осуществлять в роторно-вихревых мельницах [3] конструкции Белорусского государственного технологического университета. Эти мельницы успешно внедрены в ряде производств, и на полупромышленной установке проводились исследования по помолу в них извести. Результаты исследований показывают, что при качестве помола значительно выше требований ГОСТа расход электроэнергии на порядок ниже, чем в барабанных шаровых мельницах.

Таким образом, проведённые исследования и предложенные конструктивные решения показывают возможность значительно снизить расход энергии при переработке увлажнённых мелов, что в конечном итоге приведёт к снижению стоимости строительных материалов на известковой основе.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бильдюкевич В. Л. Энергосберегающая технология производства извести из сырья Республики Беларусь // Материалы Международной конференции “Высокие технологии и научно-технический прогресс в строительном комплексе Республики Беларусь”: Минск, 1999.
2. Роторно-цепные дробилки-мельницы /Л.А. Сивоченко, Н.Г. Селезнев, В.В. Береснев, В.А. Шуляк // Строительные и дорожные машины. – 1996. – № 5. – С. 21–22.
3. Энергосберегающая роторно-центробежная мельница для тонкого помола сыпучих и кусковых материалов / А.А. Гарабажиу, Э.И. Левданский, А.Э. Левданский // Вести АН Республики Беларусь. Серия физико-технических наук. № 2. Минск, 2000.