

В. Х. КИКАС

МИНЕРАЛЬНАЯ ЧАСТЬ ГОРЮЧЕГО СЛАНЦА-КУКЕРСИТА И ЕЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

Рациональность использования прибалтийского горючего сланца-кукерсита, который представляет собой энергетическое топливо с высоким содержанием минеральной составляющей, с одной стороны, и сырье для химической промышленности — с другой, при одновременном учете экологических аспектов подразумевает его комплексную утилизацию. Наряду с органическим веществом сланца необходимо в первую очередь как можно полнее использовать его минеральную часть, получаемую как при добыче горючего сланца, так и при его потреблении (табл. 1).

При добыче минеральную часть дают прежде всего промежуточные слои и конкреции, содержащиеся в слоях сланца, в случае карьерного способа большое количество минеральной части добавляет вскрыша.

Обогащение сланца и его использование (обогащенного кускового сланца в сланцеперерабатывающей промышленности и необогащенного мелкокускового сланца в энергетике) приводят к образованию минеральных остатков.

Остатки добычи горючего сланца

Содержание неорганической части в сланце, добываемом промышленным способом, зависит от степени его обогащения и может достигать до 80—85 %. В слоях сланца кероген смешан с неорганическим материалом — с карбонатной и песчано-глинистой (терригенной) частью, между слоями залегают прослойки известняка и мергелистого или битуминозного известняка, которые попадают в сланец при добыче.

На сланцеобогадительных фабриках от горючего сланца отделяют известняковый щебень: 0,4—0,5 м³ на 1 т сланца (расчеты К. Оясте, а также данные [3]). Из-за значительной доли включений глины и сланца этот щебень является некачественным и не может быть использован без дополнительного обогащения.

При карьерной добыче горючего сланца остатки образуются и в результате удаления покровного слоя, который состоит из рыхлых и монолитных пород и имеет толщину 12—16 м. Средний коэффициент вскрыши равен 3,3 м³ на 1 т добываемого сланца. Всего на 1 т сланца суммарно приходится в среднем 5,3 м³ различных отходов. Эти остатки, перемешанные между собой, при рекультивации, конечно, дают меньший объем, чем когда просто суммируются, так как мелкие частицы заполняют пространство между крупными.

В верхней части покровного слоя содержится торф, суглинок, супесь и глина. Объем ее в начальном природном состоянии при уровне добычи сланца в карьерах 15 млн. т/год составляет 25 млн. м³. При удалении этот слой разрыхляется, и его объем увеличивается до 33 млн. м³. Нижнюю часть общей толщиной 6—7 м слагают известняк, мергелистый известняк и мергель, которые составляют около 25 млн. м³ плотной горной массы в природном состоянии.

При удалении покровного слоя образуется около 30 млн. м³ в год загрязненного щебня и бута (5—300 мм), которые могут найти применение в строительстве лишь после дополнительного обогащения. Кроме

Таблица 1

Общая характеристика и количество минеральных остатков, образующихся при добыче и потреблении горючих сланцев в объеме 25 млн. т в год (при равных объемах добычи в карьерах и на шахтах Эстонского месторождения), по данным [1, 2]

Остатки	Количество*	Степень разложения карбонатов, %	Содержание органического вещества, %	Сфера утилизации
Остатки добычи и обогащения сланца				
1. Из покровного слоя общей толщиной 12—16 м, удаляемого при разработке карьера:				
а) Торф, суглинок, супесь, глина (в начальном природном состоянии ~ 21 млн. м ³ /год) после добычи в рыхлом виде	28	0	Не опр.	Для рекультивации карьеров
б) Каменный материал из известняка, мергелистого известняка и мергеля (в начальном природном состоянии ~ 21 млн. м ³ /год, с ρ_0 до ~ 2300 кг/м ³) после добычи в дробленном виде:				
Щебень и бутовый камень (5—300 мм)	25	0	Не опр.	Для рекультивации карьеров и в качестве строительного камня (после обогащения)
Отсевы щебня (< 5 мм)	8	0	Не опр.	Для рекультивации карьеров
2. Известняковый щебень, загрязненный глиной и горючим сланцем, после обогащения сланца	10	0	Не опр.	Для рекультивации карьеров и в качестве строительного щебня (после дополнительного обогащения)
Остатки термической переработки сланцев				
1. Полукок и зола после технологической обработки обогащенного кускового (25—125 мм) сланца в газогенераторах	2	25	5—10	Для планировки участков и по специнструкциям
2. Зола из установок с твердым теплоносителем	0,1	15	4—6	То же
3. Остатки от пылевидного сжигания на тепловых электростанциях:				
Топочная зола	4	70—90	0,5—2	В сельском хозяйстве
Легучая зола	6	90	0,5	Для изготовления высоко- и среднетемпературных цементов и автоклавных бетонов, в сельском хозяйстве, дорожном строительстве и в химической промышленности

* Млн. м³/год — в случае добычи и обогащения, млн. т/год — в случае термической обработки.

того, образуется около 10 млн. м³ отсевов щебня (< 5 мм), которые нельзя использовать, поскольку не имеется соответствующих исследований.

При добыче и обогащении 30 млн. т сланца в год отходы в виде щебня и бута составляют около 43 млн. м³. Это значение на порядок выше того, которое характеризует потребление известнякового щебня в строительстве в ЭССР. Добавим, что выделение из побочного продукта добычи сланца строительного щебня, отвечающего предъявляемым к нему требованиям, — достаточно сложная задача. Вообще вопросы целесообразности и способы использования минеральных отходов добычи сланца мало изучены и нуждаются в дальнейшей разработке [2, 3].

Остатки термической переработки горючего сланца

В настоящее время в ходе энергетического и технологического использования сланца-кукерсита ежегодно образуется около 15 млн. т минеральных остатков в виде золы, полукокса и кокса. Возможности их использования в народном хозяйстве в качестве вторичного сырья в значительной мере зависят от их состава и свойств. Качество этих остатков как потенциального вторичного сырья тем выше, чем меньше в них органического вещества и чем больше степень разложения карбонатов (табл. 2).

Сложная и до сих пор не решенная проблема — получение золококсовых остатков, безвредных для окружающей среды или с высокими потребительскими качествами, что обеспечивало бы их утилизацию. Из эксплуатируемых в Эстонской ССР установок для термической

Таблица 2

Характеристика промышленных фракций летучей золы сланца-кукерсита, по данным [4, 6, 7]

Показатель	Фракции золы		
	крупная	мелкая	мельчайшая
Средний размер частиц, мкм	30—150	15—30	15
Удельная поверхность, м ² /кг	50—120	180—250	280—500
Содержание извести, %:			
общей	50—58	36—44	29—36
свободной	20—32	12—17	6—12
Гидроמודуль	1,2—1,9	0,75—1,00	0,60—0,80
Водовязущее отношение	0,45—0,57	0,40—0,44	0,32—0,34
Активность, МПа:			
кукермита*	3,0—8,5	12—16	17—26
сланцевопольного цемента**	9—12	22—30	35—52
Коэффициент вариации активности сланцевопольного цемента, %	25—45	9—11	4—5
Возможные области применения***			
Производство высокомарочных и специальных портландцементов	—	—	+
Производство среднечемочных цементов и дорожное строительство	—	+	—
Производство автоклавных бетонов	+	+	—
Сельское хозяйство и химическая промышленность	+	—	—

* Кукермит — вяжущее вещество, получаемое при помолке сланцевой золы.

** Сланцевопольный цемент — вяжущее вещество, получаемое при совместном помолке 30 % портландцементного клинкера и 70 % фракции золы.

*** «Плюс» — рекомендуется, «минус» — не рекомендуется.

переработки сланцев для окружающей среды практически безвредны сланцевые генераторы «предпоследнего поколения» пропускной способностью 100—250 т/сут кускового (25—125 мм) сланца, в которых осуществляется окислительная обработка (озоление) полукоксового остатка в нижней части. Однако агрегат «нового поколения», основным представителем которого является генератор «Кивитер» пропускной способностью 1000 т/сут в г. Кохтла-Ярве, пока действует без окислительной обработки остатка и выдает в отвалы полукокс. В «черной золе» установок с твердым теплоносителем содержатся водорастворимые сульфиды и тиосульфаты, много полициклических ароматических углеводородов и фенолов. Применение этих остатков, которых в год образуется около 2 млн. т, в дорожном строительстве и сельском хозяйстве малоэффективно или вообще невозможно.

В золе, образующейся при пылевидном сжигании сланцев на ТЭС, не содержится вредных для окружающей среды продуктов неполного сгорания. При этом высокая основность минеральной части сланца обеспечивает благоприятные фазовый состав и свойства золы, что делает ее ценным сырьем прежде всего для промышленности строительных материалов, дорожного строительства и сельского хозяйства.

Важно отметить, что именно высокий рН, который считается основным недостатком золы колорадских горючих сланцев, затрудняющим ее использование для рекультивации земель [5], является главным фактором, обуславливающим возможность массового применения золы наших сланцев.

Основы рационального использования остатков сланца

Остатки термической переработки сланца прежде всего подразделяются на требующие обжига в процессе вторичного использования и не нуждающиеся в дополнительном обжиге. В качестве граничных показателей между этими двумя группами можно принять содержание органического вещества порядка 5 %, степень разложения карбонатов 50 % и наличие сульфидов. К первой группе (остатки, требующие обжига) в основном относятся остатки технологического использования сланца, такие, как полукокс и кокс, а также «черная зола».

Составляющие вторую группу золы — остатки потребления сланца в энергетической промышленности (содержание кокса не более 2 %, степень разложения карбонатов не менее 70 %) можно использовать в народном хозяйстве в исходном виде или после незначительной дополнительной обработки.

Из-за своеобразия состава минеральной части горючего сланца-кукерсита высококальциевая зола имеет весьма неоднородные состав и свойства. На первый взгляд такая повышенная вариация качества сланцевой золы должна чрезмерно усложнить и ограничить ее применение. Однако специальными исследованиями выявлено, что это свойство золы, наоборот, позволяет разработать новый, особо эффективный способ ее утилизации.

Минеральная часть нашего сланца состоит из двух групп соединений — карбонатных и терригенных. Основным минералом, входящим в состав как карбонатной, так и неорганической части, является кальцит. Его содержание в карбонатной части превышает 95 %, а в целом в неорганической части составляет 57—75 %. Модуль основности M_o неорганической части сланца варьирует в пределах 0,9—1,9. Терригенный материал в основном представлен кварцем, ортоклазом, слюдой и пиритом.

При помолу сланца-кукерсита в случае пылевидного сжигания на

теплоэлектростанциях терригенная часть сланца значительно легче поддается измельчению, чем карбонатная. Вследствие этого топливная пыль сланца состоит из различающихся по крупности и содержанию известняка фракций. Крупные содержат больше известняка, чем мелкие, M_0 варьирует от 0,1 до 2,4. В результате при пылевидном сжигании образуются частицы золы дифференцированного состава. Частицы размером более 30 мкм содержат особенно много свободной извести, которая образуется при разложении карбонатов и не успевает прореа-

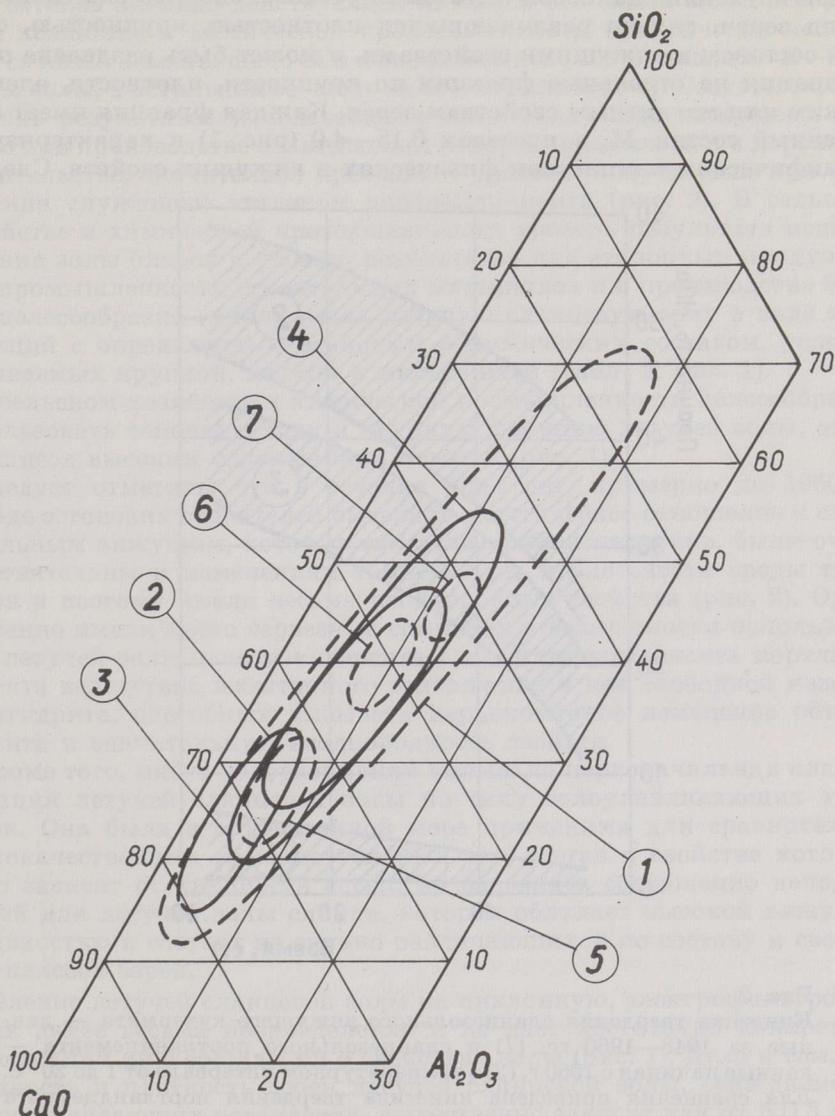


Рис. 1

Состав различных видов и фракций золы: 1 — фракции золы с плотностью от 2,0 до 3,3 г/см³ и модулем основности от 0,15 до 4,0; 2 — топочная зола (из-под топки); 3 — циклонная зола; 4 — электрофильтровая зола; 5—7 — летучая зола: 5 — крупная фракция (получена в механических золоуловителях 1-й ступени с КПД 15—40 %); 6 — мелкая фракция (получена в механических золоуловителях 2-й ступени с КПД 60—70 % после отделения крупной фракции); 7 — мельчайшая фракция (получена в электрофильтрах с КПД 95 % после механических золоуловителей с КПД не менее 60 %)

гировать с терригенной частью, и частично прокаленный терригенный материал, который не прореагировал с известью и также в некоторой степени остался свободным.

При пылевидном сжигании сланцевой пыли с размерами частиц до 0,5 мм образующаяся зола разделяется в топочном пространстве на две части: более крупная (0,2 мм) оседает на дно топки, более мелкая — так наз. летучая зола — уносится из топки дымовыми газами.

При изучении сланцевой золы было установлено, что она состоит из групп зерен, сильно различающихся плотностью, крупностью, фазовым составом и вяжущими свойствами, и может быть разделена путем сепарации на отдельные фракции по крупности, плотности, электрическим или магнитным свойствам зерен. Каждая фракция имеет определенный состав, M_0 в пределах 0,15—4,0 (рис. 1) и характеризуется специфическим комплексом физических и вяжущих свойств. Следова-

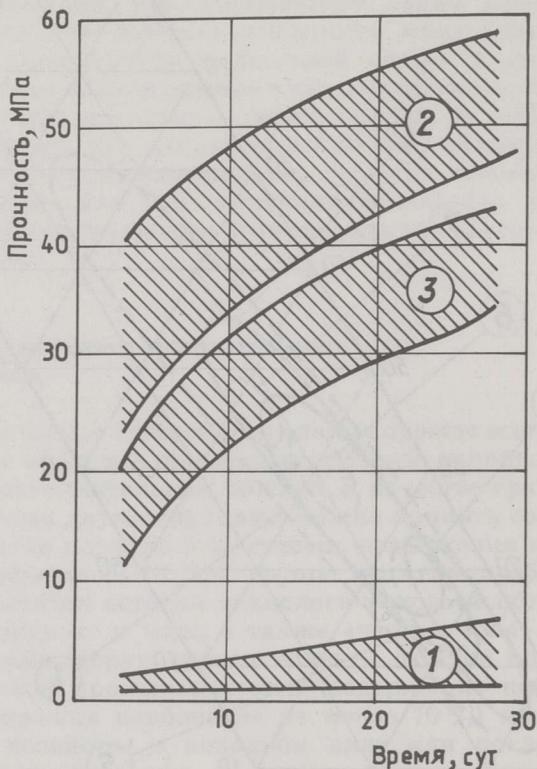


Рис. 2

Кинетика твердения сланцевозольного вяжущего кукурмита — данные за 1948—1960 гг. (1) и сланцевозольного портландцемента — данные начиная с 1960 г. (2) в температурном интервале от 1 до 20 °С. Для сравнения приведена кинетика твердения портландцемента в аналогичном интервале температур (3)

тельно, из них могут быть составлены смеси с заданными составом и свойствами. Для этого из разнообразных фракций сланцевой золы необходимо выбрать наиболее подходящие для отдельных областей применения, в первую очередь учитывая особо ценный полифункциональный вяжущий потенциал фракций золы.

В промышленности летучую сланцевую золу можно весьма успешно разделять на отдельные фракции непосредственно в нормальном цикле золоулавливания из дымовых газов на электростанциях — без существенных дополнительных затрат, путем селективного осаждения золы

в циклонах и по ходу прохождения газов через электрофильтры в системе газоочистки электростанции.

Эффективность использования золы в какой-либо области утилизации оценивается по активно действующей массе золы и уровню получаемого результата по сравнению с уровнем для заменяемого эталона. Так, при использовании золы в качестве вяжущего для получения портландцементов, в дорожном строительстве и при производстве автоклавных бетонов активно действующей является вся масса золы, а в сельском хозяйстве и химической промышленности практически используются лишь известь, щелочи и микроэлементы, составляющие 40—50 % массы золы, а остальная ее часть является балластной. Соответственно, уровень результатов использования золы в качестве вяжущего, особенно при производстве сланцевольного портландцемента и в дорожном строительстве, значительно превышает уровень, получаемый при применении служащего эталоном портландцемента (рис. 2). В сельском хозяйстве и химической промышленности уровень результата использования золы близок к уровню результатов для эталонных продуктов.

В промышленности строительных материалов и в производстве бетонов целесообразно использовать летучую сланцевую золу в виде трех фракций с определенным зерновым и химическим составом, условно называемых крупной, мелкой и мельчайшей (табл. 2; рис. 1).

В сельском хозяйстве и химической промышленности целесообразно использовать топочную золу и крупную фракцию летучей золы, отличающиеся высоким содержанием извести (рис. 1).

Следует отметить, что в течение ряда лет, примерно до 1960 г., в среде эстонских строителей бытовало скептическое отношение к сланцевольным вяжущим, которые твердели крайне медленно, были очень чувствительны к изменениям температуры и влажности среды твердения и поэтому имели весьма неоднородные свойства (рис. 2). Одновременно имели место серьезные сомнения в возможности использования летучей золы сланца-кукерсита в качестве компонента портландцемента вследствие избыточного содержания в ней свободной извести и ангидрита, способных вызывать неравномерное изменение объема цемента и значительную неоднородность свойств.

Кроме того, много недоразумений вызывала первоначальная классификация летучей сланцевой золы по типу золоулавливающих установок. Она была в определенной мере применима для сравнительно низкокачественных каменноугольных зол, состав и свойства которых мало зависят от крупности зерен, но оказалась совершенно неподходящей для летучей золы сланца, которая обладает высокой вяжущей активностью и состоит из сильно различающихся по составу и свойствам классов зерен.

Деление летучей сланцевой золы на циклонную, электрофильтровую и так далее весьма неопределенно и не дает достаточно конкретной информации ни о составе, ни о свойствах золы (рис. 1). Дело в том, что крупность и плотность зерен летучей сланцевой золы, осаждаемой в золоулавливающих установках, существенно зависит как от КПД циклонов и электрофильтров, так и от режима их работы и технического состояния. Неоднородность качества классифицированной таким образом золы настолько велики в пределах одного класса, что ее практически невозможно использовать для изготовления строительных материалов, отвечающих современным требованиям [4].

В настоящее время при сжигании горючего сланца ежегодно образуется около 4 млн. т топочной золы и 6 млн. т летучей. Расчет баланса фракций летучей золы основан на результатах многочисленных исследований, проведенных проблемной лабораторией стройматериалов Таллинского политехнического института в 1966—1982 гг., и на основе следующих базовых данных [4, 8—10]:

Средняя теплота сгорания сланца при влажности 12 %	8,8	МДж/кг
Средняя зольность сухого сланца	45,0	%
Содержание летучей золы, % от всей золы	55—65	%
КПД циклонов НИИОГАЗ ЦН-24 Ø1600	0,60	
КПД прямоточных циклонов ЦКТИ с жалюзийными раскручивателями	0,50	
КПД электрофильтров	0,95	

При годовом потреблении на теплоэлектростанциях ЭССР 23,5 млн. т горючего сланца будет образовываться в общей сложности около 10 млн. т сланцевой золы, причем различные ее виды и фракции (табл. 3).

Таблица 3

Годовой выход различных видов и фракций сланцевой золы на теплоэлектростанциях Эстонии, млн. т

Зола	Выход летучей золы				Перспективная область применения
	0,55		0,65		
	КПД циклонов				
	0,50	0,60	0,50	0,60	
Топочная зола	4,5	4,5	3,5	3,5	Сельское хозяйство и химическая промышленность
Летучая зола: осажденная в циклонах (крупная фракция)	2,7	3,3	3,2	4,2	Производство автоклавных бетонов, дорожное строительство, химическая промышленность, сельское хозяйство
осажденная в электрофильтрах:					
мелкая фракция (M _{кач} > 1,75)	1,4	—	1,6	—	Цементная промышленность и дорожное строительство
мельчайшая фракция (M _{кач} > 3,0 и > 4,0)	1,4	2,2	1,6	2,3	Цементная промышленность

Современное состояние и перспективы использования сланцевой золы

Высококальциевая зола сланца-кукерсита по сравнению с кислой каменноугольной золой имеет значительно более широкую сферу применения. Так, ее можно использовать в промышленности строительных материалов для получения цементов, ячеистых и тяжелых автоклавных бетонов, кирпича и теплоизоляционных материалов, таких, как минеральная вата и аглопорит, в дорожном строительстве в качестве вяжущего, в сельском хозяйстве для известкования почв, в химической и горной промышленности.

Промышленность строительных материалов. Первые попытки утилизации золы сланца-кукерсита относятся к самому началу развития сланцевой промышленности, когда в 20-е гг. зола эпизодически использовалась в качестве вяжущего в низкомарочных строительных растворах. Значительно более успешным было производство в 1929—1941 гг. около 50 млн. шт. сланцевозольного кирпича автоклавного твердения. Построенные из него здания эксплуатируются и поныне, например здания железнодорожных станций Рахумяэ и Хийу в Таллине.

В послевоенный период исследованиями сланцевой золы как вяжущего занимались в ТПИ, НИИСтроительства и НИПИСиликатобетон. Уже в 1948 г. началось производство низкомарочного сланцевозольного

вяжущего — кукермита марки 25-50. К 1961 г. его было выпущено около 0,5 млн. т. Кукермит в основном добавлялся в строительные растворы и частично в низкомарочные бетоны, что экономило до 30 % строительной извести и портландцемента.

При разработке новых сланцезольных строительных материалов особое внимание обращалось на достижение как можно более высокого их качества, что обеспечило бы их конкурентоспособность по отношению к традиционным материалам и широкое применение. При этом желаемый эффект должен был основываться главным образом на особенностях состава и свойств золы. Значительно усложнял разработку специфический характер сланцезольных вяжущих, выразившийся в гораздо большем расширении при твердении. Ограничение и регулирование такого расширения в различных условиях производства и эксплуатации бетонов потребовало обширных исследований и поэтапного внедрения.

В 1960 г. началось использование летучей сланцевой золы в виде трех фракций — крупной, мелкой и мельчайшей. К настоящему времени на основе летучей золы пылевидного сжигания сланца выпущено около 7 млн. м³ изделий из автоклавных ячеистых и тяжелых бетонов и 0,5 млн. т зольного вяжущего кукермита. При этом сэкономлено около 1,0 млн. т портландцемента и 0,8 млн. т извести. Объем производства в Эстонской ССР сланцезольных автоклавных бетонов в 1986 г. составил 420 тыс. м³ при экономии за счет золы около 6 р. 50 к. на 1 т использованной золы.

Чтобы оценить эффективность применения в цементной промышленности летучей золы сланца-кукермита, обладающей высоким вяжущим потенциалом и полифункциональными свойствами, требуется еще более детализированная классификация с учетом содержания в золе свободной извести и степени ее дисперсности. Мелкая и мельчайшая фракции летучей золы классифицируются по комплексному показателю — модулю качества золы $M_{кач}$, который представляет собой соотношение удельной поверхности золы и содержания свободной извести и показывает долю поверхности летучей золы (m^2), заключающую в себе 1 г свободной извести:

$$M_{кач} = (S/10^4) : (CaO_{св}/10^2) = S/10^2 \cdot CaO_{св}$$

Мелкая фракция летучей золы имеет $M_{кач}$ от 2,0 до 2,6, мельчайшая — от 3,0 до 7,0.

Высокомарочный сланцезольный портландцемент производится на цементном заводе «Пунане Кунда» путем добавления мельчайшей фракции летучей золы (20—30 %) к цементному клинкеру (80—70 %). Этот портландцемент пластифицированный, безусадочный и особенно хорошо твердеет при пропаривании (6 и 7). С 1960 г. его выпущено около 3,5 млн. т.

По ГОСТ 310.4-81 марка сланцезольного портландцемента в стандартном растворе 1 : 3 (цемент—нормальный вольский песок) составляет 500—650 (~ 50—65 МПа), то есть активность обычного портландцемента превышена почти на 15 МПа. Разница в прочности обычного портландцемента и сланцезольного портландцемента тем больше, чем более шероховатую поверхность имеет заполнитель и чем выше температура твердения. Так как при стандартном испытании цемента используется нормальный вольский песок — типичный речной песок с гладкой поверхностью зерен, то в бетоне при использовании обычного песка и щебня с более шероховатой поверхностью и особенно при пропаривании значение разницы достигают 25 МПа.

При испытании цемента по стандартам Финляндии, ФРГ и многих других стран используется шероховатый нормальный песок, поэтому

марка сланцезольного портландцемента, например, по стандарту DIN составляет 650—750. Это гораздо выше, чем марка производимого в ФРГ сланцезольного портландцемента — до 600, который выпускается фирмой «Рудольф Рорбах», в г. Доттернхаузене на основе полной утилизации золы местной ТЭС. Для изготовления 1 т цемента используется 0,7 т клинкера и 0,3 т золы горючего сланца, добавки гипса обычно не требуется. Годовое производство — 420 тыс. т такого высокомарочного портландцемента и 50 тыс. т низкомарочного вяжущего на основе золы [11].

На основе сланцезольного портландцемента изготовлено уже около 10 млн. м³ сборных обычных и преднапряженных железобетонных изделий и конструкций, для которых особенно важны пластифицированность цемента, его малая водопотребность и высокая стойкость. Из них сооружены промышленные комплексы, жилые районы, морские набережные, Таллинская телебашня, дымовые трубы электростанций, виадуки, Ленинградская АЭС и др. Этот цемент преобладает при производстве железобетона в республике. Экономический эффект от использования золы для сланцезольных портландцементов составляет в зависимости от вида цемента от 40 до 60 р. на 1 т золы.

В ближайшее время целесообразно многократно увеличить производство портландцемента на основе летучей сланцевой золы на заводах, расположенных в Прибалтике. На цементном заводе «Пунане Кунда» следует довести производство сланцезольных портландцементов с теперешнего уровня в 0,35 млн. т до 1,5 млн. т в год. При этом можно отдельно выпускать особо эффективный сульфатостойкий и напрягающийся сланцезольный цемент. Целесообразно также предусмотреть выпуск низко- и среднемарочных трехкомпонентных цементов в количестве около 3 млн. т в год, что обеспечит ежегодный экономический эффект в размере около 6 млн. р.

На наших теплоэлектростанциях образуется столько пригодной для использования в цементной промышленности золы, что на ее основе можно производить в общей сложности до 10 млн. т высокоэффективных сланцезольных портландцементов, которые могут заменить около 15 млн. т обычного портландцемента. Таким образом, использование 2,2 млн. т мельчайшей фракции летучей золы в цементной промышленности позволит сэкономить продукцию в среднем четырех современных цементных заводов.

Дорожное строительство — один из наиболее эффективных путей использования сланцевой золы, за счет чего успешно решается проблема ликвидации гравийных дорог в Эстонской ССР. Сейчас уже около 1400 км дорог получили либо новое дорожное покрытие, либо монолитное основание. С 1971 г. для этих целей использовано около 1 млн. т золы при экономии около 8 р. 50 к. на 1 т золы. В дальнейшем с использованием сланцевой золы ежегодно будет строиться около 250 км дорог, где будет расходоваться более 150 тыс. т золы. Полученный опыт строители нашей республики применили в Тюмени, где с 1981 г. построено 225 км дорог и израсходовано около 180 тыс. т сланцевой золы.

К концу этого столетия в республике планируется все гравийные дороги IV и V категории перестроить с использованием золы [12].

С учетом сравнительно одинаковой густоты дорог в республиках Прибалтики общая потребность в сланцевой золе для дорожного строительства во всей Прибалтике может составить 0,5 млн. т в год, а с учетом строительства дорог и в прилегающих областях РСФСР и Белорусской ССР — более 1 млн. т в год.

Ведущим научным центром по проблемам строительства сланцезольных дорог является Центральная дорожно-строительная лаборатория (ЦДСЛ) Минавтошосдора Эстонской ССР. По ее данным, применение сланцевой золы в дорожном строительстве возможно при температуре

воздуха до минус 20 °С, что очень важно с точки зрения достижения ее круглогодичного равномерного вывоза и использования. В ЦДСЛ разрабатываются также специальные зимние методы сооружения дорог с учетом кооперации с сельскохозяйственными потребителями золы, потребность которых в золе в зимнее время сокращается.

Сельское хозяйство. Известкование кислых почв улучшает их реакцию и физико-химические свойства, а также питательный режим растений, в результате чего урожайность сельскохозяйственных культур значительно повышается. Благодаря известкованию почв золой пылевидного сжигания сланцев, которая характеризуется высокой нейтрализующей способностью, обусловленной содержащимися в ней соединениями кальция, магния, калия и натрия, а также микроэлементов (Cu, B, Mn, Co, Zn), в республике дополнительно производится в среднем 80—100 кормовых единиц (условно около 0,7—0,9 ц зерна) с гектара в год. Зола для известкования имеет большую удельную поверхность, обеспечивающую хорошее соприкосновение с почвой, поэтому ее можно доставлять на поле цементовозами и вносить в почву в сухом виде.

В Эстонской ССР почвы известкуются с интервалом в 5—6 лет; ежегодно обрабатывается 60—70 тыс. га из расчета 5 т золы на 1 га. Прибыль составляет в среднем 12 р. 30 к. на 1 т использованной золы. При таком большом местном эффекте экономически оправдана и транспортировка золы на большие расстояния. По технико-экономическим расчетам, использование сланцевой золы в качестве известнякового удобрения в западных областях РСФСР (от Ленинградской области до Коми АССР) дает экономический эффект в среднем 7 р. 60 к. на 1 т золы, причем в этих расчетах учтены не только транспортные расходы, но и капитальные вложения на приобретение железнодорожных вагонов-цементовозов, автомобильных и тракторных разбрасывателей и на сооружение местных складов, а также сезонность работ по известкованию полей.

Начиная с 1964 г. в Эстонской ССР для известкования почв было использовано около 6 млн. т сланцевой золы, в других республиках за прошлую пятилетку — около 13 млн. т. Сейчас ее годовое потребление достигло 3,2 млн. т, и его планируют увеличить.

Подчеркнем, что в сельском хозяйстве до последнего времени применялась смесь циклонной и электрофильтровой золы, тогда как для этих целей лучше подходит топочная зола, в которой больше извести. Тогда особо необходимая цементной промышленности мельчайшая фракция летучей золы, осаждаемая в электрофильтрах, шла бы на производство высокоэффективных сланцевозольных портландцементов.

Химическая промышленность. Ежегодно Маардуский химический комбинат в Эстонской ССР использует 20 тыс. т летучей сланцевой золы при производстве суперфосфата. Особого расширения сферы использования золы для нужд химической промышленности не предвидится.

Горная промышленность. Сланцевой золой, как и известняком с обогатительных фабрик, можно заполнять неровности местности, например, при рекультивации сланцевых карьеров. Такое использование отходов в качестве заполнителя преследует экологические цели. Однако поскольку высококальциевая сланцевая зола представляет собой чрезвычайно ценное сырье для промышленности строительных материалов, сельского хозяйства, дорожного строительства и др., вскоре может образоваться ее дефицит. Следовательно, использовать ее в горной промышленности вряд ли целесообразно.

В сланцах Эстонского месторождения и твердых остатках их переработки и сжигания имеются тяжелые металлы и редкие элементы.

Однако концентрации их таковы, что они не опасны ни для окружающей среды, ни для потребителей. Тем более нет смысла говорить о возможностях промышленного извлечения таких компонентов.

Заключение

Таким образом, список возможных реальных путей использования сланцевой золы вмещается в рамки, обозначенные в данной статье.

Из итоговой схемы (рис. 3) видно, что вся сланцевая зола электростанций с пылевидным сжиганием сланцев может быть эффективно использована в народном хозяйстве для различных целей. При этом расчетный экономический эффект от использования золы в 1986 г. составил 3,8 млн. р., а при условии использования золы по предлагаемой схеме — 176 млн. р. в год. Это обстоятельство необходимо учитывать при проектировании систем золоулавливания и золоудаления для новых и реконструируемых сланцевых ГРЭС.

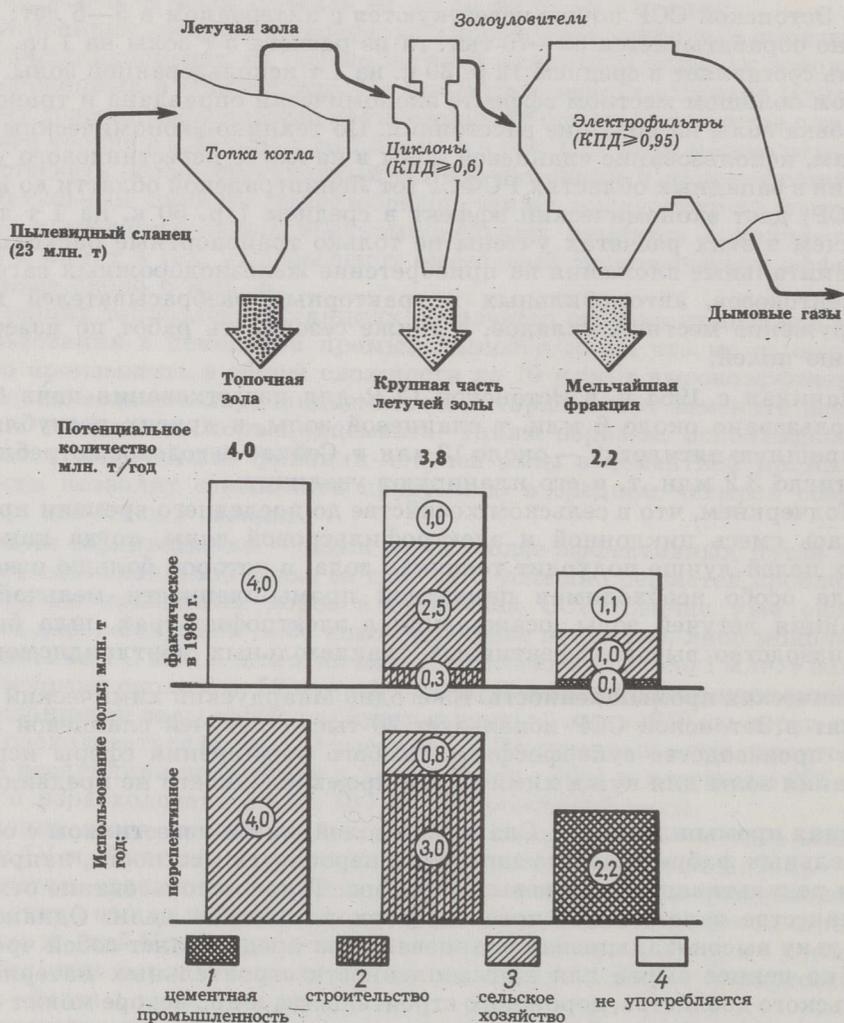


Рис. 3 Современное состояние и перспективы использования сланцевой золы.

В заключение добавим, что рациональное использование сланцевой золы в промышленности строительных материалов, сельском хозяйстве, дорожном строительстве и химической промышленности обеспечит народному хозяйству доход, значительно превосходящий стоимость самого горючего сланца.

ЛИТЕРАТУРА

1. Эпик И. П. Проблемы рационального использования отходов тепловых электростанций: Рез. // Ежегодник О-ва естествоиспытателей АН ЭССР. 1973. Т. 62. С. 23.
2. Paalme, G., Vaher, E. Tehnika progress põlevkivikaevandamisel. — Tallinn, 1978.
3. Ojaste, K. Kukersiit-põlevkivi kaevandamise jäägid: Käsikiri / Tallinna Polütehniline Instituut, 1980. Deponeeritud: TPI ehitusmaterjalide laboratoorium, nr. 96.
4. Кикас В. Х. Изучение и применение сланцевольных цементов: Дисс. ... д-ра техн. наук. — Таллин, 1974.
5. Allred V. D. Oil shale retorting phenomenology. Oil shale processing technology. — East Brunswick, 1982. P. 55—68.
6. А. с. 178721 СССР, МПК С 04. «Цемент». В. Х. Кикас, Р. Э. Отсман и А. А. Хайн. (СССР). — № 687692/29-14. Заявл. 02. 12. 60; Опубл. 22. 01. 66. Бюл. № 3.
7. Кикас В. Х., Пиксарв Э. Ю., Хайн А. А., Докелин С. А. Производство сланцевольных портландцементов // Цемент. 1983. № 11.
8. Эпик И. П., Бйспуу Л. М., Сирс Х. И. О причинах изменения теплоты сгорания энергетического сланца // Тр. / Таллин. политех. ин-т. Таллин, 1978. № 458.
9. Гудкин М. Э. Разработка основ проектирования сланцевых котлов на базе создания и освоения действующего оборудования: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. — Ленинград, 1982.
10. Исследование вопросов сепарации летучих зол сланца-кукерсита: Науч.-техн. отчет ТПИ. Таллин, 1966. РЕ-619.
11. Алехин Ю. А., Кройчук Л. А. Применение зол ТЭС и доменных шлаков в производстве цемента // Цемент. 1983. № 7.
12. Разработка технологии строительства дорожных одежд из укрепленных сланцевой золой грунтов и материалов: Науч.-техн. отчет центральной дорожно-строительной лаборатории. Номер гос. регистрации 01.83.0 070560. Инв. № 0287.0 047515. Таллин, 1986.

Таллинский
политехнический
институт

Представил И. П. Эпик
Поступила в редакцию
12. 10. 1987

MINERAL MATTER OF KUKERSITE OIL SHALE AND ITS UTILIZATION

The paper investigates the composition and properties of residues from the processing of Estonian oil shale, relatively rich in mineral matter. Also, possibilities of utilizing them as a fuel in power stations and raw material for the chemical industry are considered.

Wastes of the oil shale industry are applied mainly to recultivating the old mines. Their utilization in the building materials industry and other industries as well needs further study.

Due to their low quality oil shale ashes and slags from the chemical industry have been used episodically as compared to those of power stations. Lime-rich fly-ash of power stations is useful as a binder to produce building materials, replace lime in the chemical industry, as well as in constructing highways. At the same time, high amounts of conventional raw materials are saved and a notable economic effect is achieved. The utilization of lime-rich oil shale ash in the building materials industry is considered. High-grade oil shale ash portland cement has been obtained instead of the former low-quality binder.

Tallinn Technical University