

Раздел третий

ОБРАЩЕНИЕ С ЗОЛОШЛАКАМИ

3.7. Аналитические материалы

3.7.6. Преграды, возможности и решения проблемы летучей золы энергетики в Индии

В. Кумар, Министерство науки и технологии Индии

АННОТАЦИЯ

В Индии уголь остается основным источником электроэнергии (65...75 % в топливном балансе). Высокая зольность индийских углей (около 45 %) наряду со строительством более мощных энергоблоков на ТЭС приводят к экспоненциальному увеличению образования летучей золы в Индии за последние 20 лет, и ожидается, что эта тенденция сохранится.

Миссия по проблеме летучей золы была образована Правительством Индии в 1994 г. после проведения тщательных научных исследований для увеличения количества технологических установок и демонстрационных проектов с целью получения доверия акционерных обществ в вопросе утилизации летучей золы. Совместный и партнерский режим работы Миссии привел к ее успеху, и результаты работы Миссии были видны уже в 1997 г., а в 2000 г. уже сформировалось благоприятное отношение к летучей золе и она стала восприниматься не как отходы, а в качестве ресурсов. Сегодня, в 2009 г., это материал, на который есть всегда спрос, и который используется в предпочтительных направлениях.

В статье представлен весь путь, который прошла Миссия по проблеме летучей золы с точки зрения анализа преград, возможностей и способов решения проблемы золошлаков ТЭС в Индии.

ВВЕДЕНИЕ

Около 63 % текущего производства энергии основано на сжигании угля. Такая ситуация наблюдалась всегда (65...75 % топливного баланса) и останется такой, по крайней мере, до 2031-2032 гг. В декабре 2008 г установленная мощность ТЭС составляла 150 тыс. МВт. Она будет расти до 200 тыс. МВт к 2012 г., 300 тыс. МВт к 2017 г. и 500 тыс. МВт к 2032 г.. Около 90 муниципальных ТЭС и около 45 ТЭС отраслевых энергокомпаний используют битуминозные или подбитуминозные угли и производят около 140 млн т летучей золы (по данным за декабрь 2008 г.). Высокая зольность индийских углей приводят к большому объему образования летучей золы. Поскольку индийский энергетический сектор зависит от угля, то вопросы менеджмента летучей золы остаются крайне важными на национальном уровне.

Неразборчивое складирование летучей золы энергетических углей на золоотвалах приводит к занятию больших территорий, использованию больших объемов воды и энергии. Легкие частицы летучей золы из-за своего размера могут переноситься воздухом при отсутствии специальных мер. Летучая зола в Индии более безопасна, чем та, которая образована в других странах (особенно, из-за более низкого содержания серы, тяжелых / токсичных элементов и радионуклидов), Однако, обращение с большими объемами летучей золы представляло значительную проблему для страны.

Летучая зола энергетических углей Индии является кремнесодержащим материалом, имеющим пуццолановые свойства. Она является по природе огнеупорным материалом и щелочью, с удельной поверхностью от 3000 до 6000 см²/г.

Летучая зола может использоваться в разнообразных направлениях: производство строительных материалов, заполнение шахт, сельское хозяйство, рекультивация земель и извлечение ценных минералов. Ниже представлен усредненный химический состав летучих зол ТЭС Индии.

Химический состав летучей золы ТЭС Индии

<i>Компонент</i>	<i>Содержание, % по массе</i>
SiO ₂	49,0...67,0
Al ₂ O ₃	16,0...29,0
Fe ₂ O ₃	4,0...10,0
CaO	1,0...4,0
MgO	0,2...2,0
SO ₃	0,1...2,0
п.п.п.	0,5...3,0

УСИЛИЯ, ПРЕДПРИНИМАЕМЫЕ НА РАННЕЙ СТАДИИ РАБОТЫ МИССИИ

С целью полезного использования летучей золы научно-исследовательскими лабораториями и институтами был разработан ряд направлений ее применения. Направления утилизации золы включали как не очень ценные ее применения (использование для строительства дорог и насыпей, заполнение шахт, производства бетонов с использованием извести и летучей золы, цемента и летучей золы и т.д.), так и более ценных применения, которые изучались в лабораторных условиях. К ним относятся: извлечение алюминия, магнетитов и микросфер; производство кислотостойких и огнеупорных кирпичей и плиток; изготовление легких наполнителей и т.д. Одновременно с ними внедрялись и промежуточные технологии утилизации летучей золы, которые испытывались на коммерческом уровне. К ним относятся: производство кирпичей с применением летучей золы, поргланцементов, блоков с использованием летучей золы, производство пористых легких наполнителей из летучей золы, производство бетонов и т.д.

Несмотря на развитие ряда направлений полезного использования летучей золы, большие объемы золы ТЭС в стране размещали на обширных золоотвалах, расположенных вблизи электростанций. Всего лишь незначительная часть летучей золы ТЭС Индии (3...5 %) использовалась в различных направлениях, в то время как соответствующие показатели по использованию золы в других странах составляли от 30 до 80 %.

Министерство окружающей среды и лесов и Министерство энергетики на ранних этапах стимулирования переработки летучей золы предприняли ряд действий, которые привели к конкретным шагам в определенных областях, включая поддержку электростанций и потребителей золы со стороны Правительства в виде налоговых льгот.

ПОДХОД, ИСПОЛЬЗУЕМЫЙ МИССИЕЙ

Сложность испытаний и передачи технологий, поддержки инфраструктуры и межинституциональных связей, развития рынка, формирования политики Правительства для продвижения и поддержки использования летучей золы, требовали концентрации усилий для повышения уровня использования летучей золы. Сформировалось понимание того, что какая-либо одна технология использования золы не обеспечит решение задачи полезного использования и безопасного складирования гигантских объемов летучей золы. Требовалось выделить разумную комбинацию ряда направлений использования летучей золы с учетом периода применения, объемов инвестиций, технических характеристик, инфраструктуры, требований потребителей, потенциала утилизации летучей золы и ожидаемого срока возврата инвестиций и т.д. Нужно было одновременно представить обширный ряд технологий использования и складирования, а также различных применений золы для увеличения уровня использования, а также складирования летучей золы экологически безопасными способами. Так Департамент науки и технологии Правительства Индии определил область деятельности государства в части решения технологических вопросов в области решения проблемы золошлаков энергетики и создал для этого Миссию по проблеме летучей золы в 1994 г. (далее — Миссия)

Различные Министерства и Департаменты Правительства Индии, научно-исследовательские институты, академии и промышленные ассоциации принимали участие в проектной деятельности Миссии с целью повышения уровня полезного использования и безопасного складирования летучей золы.

Подход, применяемый Миссией, стимулировал деятельность по переработке летучей золы во всем направлениям не зависимо от уровня и природы технологий и областей их применения.

Миссия работала для укрепления доверия общества в области технологий, основанных на использовании летучей золы. 55 технологических демонстрационных проектов было внедрено на 21 объекте в разных районах страны. Планировалось иметь максимальную протяженность проектных площадок для вовлечения максимального числа технологов, инженеров, агентств пользователей и предпринимателей. Основной целью Миссии была организация активного сотрудничества Министерств, Департаментов, академических и научно-исследовательских учреждений, производителей и потребителей летучей золы. Энергосистема, Национальная корпорация тепловых электростанций (NTPC), Министерство окружающей среды и лесов (MOEF) и Министерство энергетики (MOP) внесли большой вклад в деятельность по укреплению доверия для технологий использования летучей золы и ее безопасного размещения.

Была принята комплексная стратегия, основанная на одновременном развитии десяти приоритетных выбранных направлений:

- характеристики летучей золы,
- гидравлические структуры,
- удаление и транспорт,
- гидрозолоотвалы и дамбы,
- применение золы в сельском хозяйстве,
- рекультивация гидрозолоотвалов для жилищного строительства,
- дороги и насыпи,

- заполнение шахт,
- НИОКР,
- производство строительных материалов.

Ниже приводится информация о некоторых работах по отобраным направлениям применения.

Дороги и насыпи. Исследования по утилизации летучей золы (шлака котлов с ТШУ и золы из гидрозолоотвалов) проводилась в научно-исследовательских и академических учреждениях Индии в течение 30 лет. Участки дорог, которые были построены в эти годы, остались историческими местами их научно-исследовательской деятельности. Результаты и опыт таких усилий очень значимы. Они выявлены, синергизированы и направлены на дальнейшее развитие масштабной утилизации золы.

Это направление использования летучей золы в соответствии с проектом Миссии показало успешность ее применения в качестве структурного наполнителя при возведении насыпей для висячих мостов в Дели и строительстве дороги вблизи Райчура. При строительстве дорожной насыпи длиной 1,7 км и высотой 6...8 м для Низамуддинского моста (рис. 1), в Нью-Дели было использовано 150 тыс. м³ летучей золы.



Рис. 1. насыпь подъездной дороги к Низамуддинскому мосту в Нью-Дели (в зоне затопления реки Ямуна)

Электроснабжающая компания Калькутты (CESC) и NTPC построили дороги с использованием летучей золы на своих электростанциях.

Висячий мост Охла в Нью-Дели — первый проект, в котором использовалась летучая зола для возведения насыпи — был открыт 3 января 1996 г. Инженеры Департамента общественных работ Дели и власти убедились в преимуществах применения летучей золы для технологии строительства насыпи Хануман Сету Дели по сравнению с использованием для этих целей природных грунтов.

Летучая зола, используемая как структурный наполнитель, является лучшим геотехническим материалом, чем природные грунты, особенно вследствие фракционного состава, плотности, характеристик уплотнения, прочностных характеристик, проницаемости и удобства при проведении работ. Кроме того, летучую золу обычно можно получить бесплатно и ее использование приводит к сбережению ценной плодородной земли, которая бы в противном случае использовалась для таких целей.

Летучая зола может использоваться для строительства дорог и насыпей в качестве подосновы, дорожной основы, несущего слоя, а при строительстве дорог из бетона может применяться как часть заместителя цемента. Центральный научно-исследовательский институт дорог (CRRRI) Нью-Дели — технический партнер Миссии —

разработал технологии и всем желающим потребителям может оказать соответствующую поддержку.

В области НИОКР все больше агентств развивают новые технологии и одновременно демонстрируют свои более ранние крупномасштабные работы, как производство и использование легких и агломерированных наполнителей, использование летучей золы при строительстве бетонных дорог и т.д.

Гидравлические структуры. Технология разработана Центральной научно-исследовательской станцией по почвам и материалам (CSMRS) Нью-Дели и Университетом Рурки для строительства гидравлических структур из бетона, уплотненного катками с использованием большого количества летучей золы. В результате применения такой технологии возможна экономия до 60...70 % цемента и уменьшение периода выполнения строительных работ от 1/2 до 2/3 времени, необходимого для обычной практики строительства. Кроме того, отсутствие теплоты гидратации позволяет избежать применения охлаждающих установок, что позволяет проводить строительные работы более быстрыми темпами. Меньшее время, требуемое для строительства, позволяет применять строительное оборудование для проведения других строительных работ и, таким образом, существенно повысить экономическую составляющую строительства.

Департаментом ирригации Правительства штата Махараштра было построено три дамбы по технологии бетонирования уплотняющими катками с использованием летучей золы. При поддержке Миссии и в соответствии с ее проектом были разработаны состав смеси, инструментари, другие аспекты реализации проекта и программы курсов обучения с участием ученых и инженеров. Эти инициативы привели к началу выполнения последующих НИОКР в этой области в Университете Рурки, Техническом научно-исследовательском институте Махараштра (MERI) Насик и др.

Заполнение шахт. Технология использования летучей золы для заполнения шахт была успешно внедрена при участии NTPC и Центра научно-исследовательского института горного дела (CMRI).

Использование летучей золы в качестве наполнителя в дополнение к варианту использования речных песков, является экономичным и безопасным. Он позволяет изолировать пожароопасные области шахты.

Летучая зола 20 основных ТЭС может быть успешно использована для закладки шахт. Это экологически приемлемое и экономически целесообразное полезное использование летучей золы. Технологии использования летучей золы для заполнения шахт также позволяют извлекать пограничные верхние и нижние пласты углей.

Работы НИОКР проводились в области транспортирования летучей золы в плотной фазе для заполнения шахт, технологий плотного заполнения выработок для добычи толстых пластов до высоководных слоев и т.д.

Применения в сельском хозяйстве. Наличие кальция, магния, цинка, железа и других элементов делает летучую золу источником микроэлементов для применения ее в сельском хозяйстве. Ее применения увеличивают рост и урожайность сельскохозяйственных культур от 15 до 200 и более %. Летучая зола является также хорошим кондиционером почвы, мелиорантом кислых почв и

ее применение позволяет улучшить водопоглощающую способность и другие физические свойства почв, важные для роста растений (рис.2).



Рис. 2. Гвоздики на гидрозолоотвале ТЭС

Единичные эксперименты и опыты, проведенные ранее, в настоящее время перешли в стадию промышленных и научных проектов с тем, чтобы показать полезное применение летучей золы в сельском хозяйстве. 15 проектов, охватывающих широкий спектр агроклиматических условий, комбинаций «почва-урожай» были поддержаны Миссией, лесоводством и растениеводством. Проектами также были предусмотрены сбор данных и анализ аспектов возможного отрицательного воздействия соединений тяжелых металлов, токсичных элементов и радиоактивности летучей золы. В результате выполненного анализа свойств летучей золы было установлено, что она не представляет серьезной опасности в части возможного неблагоприятного воздействия, однако, нам необходимо провести работу по снятию обеспокоенности общества этими аспектами.

Вопросы использования летучей золы в качестве кондиционера почвы и микоризных грибов в сельском хозяйстве, а также в лесном хозяйстве и для повышения урожайности земель также были представлены в проектах Миссии.

Реализация вышеупомянутых проектов создала уверенность в ряде ассоциаций и организаций, которые начали применять летучую золу. К ним относятся научно-исследовательские и сельскохозяйственные институты: Атомный научно-исследовательский центр Вхаба, Институт физики, Бхубанешварский и Индийский совет научных исследований в сельском хозяйстве Нью-Дели и другие, которые проявляли большой интерес в вопросах радиоактивности при использовании летучей золы в сельском хозяйстве.

Рекультивация гидрозолоотвалов для жилищного строительства. Технологии для стабилизации грунтов и оснований были успешно внедрены с целью жилищного строительства на отработанных гидрозолоотвалах (ГЗО). Технологический демонстрационный проект на ГЗО, выполненный ООО «Национальные удобрения» (NFL) г. Панипат, был завершен под надзором и руководством Центрального научно-исследовательского строительного института Рурки. Еще один проект по рекультивации отработанного ГЗО для жилищного строительства был выполнен на ТЭС Бадарпу, Нью-Дели (рис.3).



Рис. 3. Лесной массив на гидрозолоотвале ТЭС Бадарпу

Таким образом, можно заполнить ГЗО превратить в зеленые зоны, парковочные площадки, парки и др. В настоящее время они представляют собой высокоценные объекты недвижимости, особенно это касается ГЗО, находящихся вблизи густонаселенных сельских районах. Промышленность проявила интерес для разработки технологии строительства многоэтажных зданий на таких ГЗО (рис. 4).



Рис. 4. Здание, построенное с использованием кирпичей из летучей золы в Индийском институте технологий Нью-Дели

Гидрозолоотвалы и дамбы. В ближайшее время в стране невозможно будет утилизировать 100 % золы. Следовательно, очень важно, чтобы гидро- и сухие золоотвалы были построены и эксплуатировались экологически приемлемыми способами. Технологии, разработанные в Индийских технологических институтах Дели, Мадраса, Канпура; Техническом научно-исследовательском институте Махараштра г. Насик и других институтах были испытаны опытным путем с целью масштабной утилизации и демонстрации применения технологий в промышленном масштабе.

Повышение плотности укладки зольной массы на ГЗО посредством виброфлотации, взрывов и механическими способами не только приводит к складированию дополнительных объемов золы, но также делает водозольную пульпу менее подверженной ожигению при сейсмических явлениях. Укрепление дамб обеспечивает устойчивую опору для их дальнейшего наращивания (рис.5).

Также были продемонстрированы технологии наращивания дамб для вертикального расширения гидрозолоотвалов при недостаточных ресурсах земли, что накладывает более серьезные требования к устойчивости оснований и тела дамб.

Интегрированный подход к безопасной эксплуатации гидрозолоотвалов и утилизации летучей золы привел к

появлению концепции отдельного удаления летучей золы и шлака, являющихся в отдельности отличными материалами для различных применений. Также начата работа по превентивным технологиям защиты подземных вод от загрязняющих веществ.



Рис. 5. Дамба, построенная с использованием летучей золы на ТЭС Кобра, Мадхя Прадеш

В недалеком прошлом научно-исследовательские институты начали проявлять интерес к транспортированию летучей золы в плотной фазе, что позволяет экономить воду, избежать решение проблем сброса сточных вод и существенно снизить уровень загрязнения подземных вод.

Характеристика летучей золы. Летучая зола, которая ранее считалась отходом и веществом, загрязняющим окружающую среду, и использовалась в ограниченных количествах без понимания ее полезных свойств, теперь стала считаться ценным материалом, используемым для различных применений. Недавно началась работа по оценке свойств и характеристик летучей золы путем систематических исследований ее характеристик. Осуществление исследований показало, что летучая зола имеет хороший потенциал использования и может представлять собой лучший материал для переработки при разумном применении.

Также начали предприниматься усилия для установления связей между важными свойствами летучей золы и различными ее применениями. Составляются соответствующие стандарты. Более 12 научно-исследовательских институтов являются основными инициаторами совершенствования своих возможностей, направленных на изучение характеристик летучей золы, и готовы предложить свои услуги производителям и потребителям летучей золы.

Сложилось понимание, что летучая зола очень скоро будет считаться ценным ресурсом с большим потенциалом применения, а не отходом.

Удаление и транспорт. Технологические разработки в области надежного и экономичного удаления и транспорта летучей золы набирают быстрый темп. На ТЭС для удаления золы предпочтительной и принятой технологией является пневмотранспорт. Количество системы гидрозолоудаления становится все меньше и там, где возможно, предпочтительно применяются системы с высокой концентрацией золы.

Появляются новые технологии для надежного транспорта летучей золы ТЭС до места ее использования. Кроме закрытых контейнеров, которые успешно используются в других секторах производства, для таких применений разработаны огромные емкости разной вместимости.

Эти емкости являются разборными, многоразовыми и экономичными. Кроме того, такая технология временно складирования золы в местах ее использования является экологически безопасной.

ИНИЦИАТИВЫ ЗАКОНОДАТЕЛЬНЫХ И РЕГУЛИРУЮЩИХ ОРГАНОВ

Исходя из текущей потребности утилизации летучей золы и ее разнообразных применений, Правительство придерживается мнения о том, чтобы особым образом сфокусировать все усилия на утилизацию летучей золы. Ниже представлены некоторые существенные мероприятия, проведенные Правительством для повышения использования летучей золы.

1. Пересмотр и создание стандартов бюро индийских стандартов по летучей золе и ее утилизации. Выпущена вторая версия индийского стандарта: 3812, в котором сформулированы требования, предъявляемые к летучей золе для ее использования в качестве пуццолана и примесей. В этой версии приведена рациональная классификация летучей золы на основе конечных применений, а требования к параметрам ее качества ужесточены. Подобный индийский стандарт: 456 – «Требования к частицам для неармированных и упрочненных бетонов», был пересмотрен с включением в него летучей золы.

Глядя на технические преимущества использования летучей золы для производства цементов и повышения уровня утилизации золы, минимальное и максимальное содержание летучей золы в портландцементе увеличилось с 10 до 15 % и с 25 до 35 % соответственно.

2. Законодательство. Министерство охраны окружающей среды и леса Правительства Индии выпустило Извещение об ограничении использования поверхностных почв для строительных работ и повышения уровня использования летучей золы при производстве строительных материалов и проведении строительных работ. В Извещении говорится об обязательном использовании, по меньшей мере, 25 % золошлаков (летучей золы, шлака котлов с ТШУ и золы из гидрозолоотвалов) при производстве глиняного кирпича, блоков или плитки в радиусе 50 км от угольной ТЭС.

Что касается Извещения, каждая ТЭС должна отдавать золу бесплатно для целей производства продуктов из золы, таких как цемент, кирпич, блоки, для строительства дорог, насыпей и т.д., минимум в течение 10 лет. Все угольные ТЭС должны разработать план действий по утилизации образованной золы. Департаменты общественных работ, местные власти по развитию и коммунальному хозяйству, а также Национальное агентство магистралей Индии нацелены на предписанное использование золы и продуктов, произведенных на основе золы, в своих Требованиях, стандартах и т.д.

3. Другая деятельность. Правительство штатов Орисса, Раджастан, Андхра Прадеш, Тамил Наду, Пенджаб и др. объявили о различных схемах и мерах, способ-

ствующих повышению утилизации летучей золы.

Правительство Орисса освободило производителей кирпича из летучей золы и других продуктов от налогов. Еще одна мера, способствующая использованию летучей золы, была предпринята в нескольких штатах. CPWD включил кирпич и блоки из летучей золы в свои требования и принял решение построить, по меньшей мере, одно здание с использованием кирпичей из летучей золы в каждой зоне. Власти по развитию Дели (DDA) включили летучую золу в свою тендерную документацию по строительству висячих мостов в Дели.

ВВЕДЕНИЕ В УЧЕБНЫЙ ПРОЦЕСС

Быстро развивающаяся деятельность в области безопасного удаления и утилизации летучей золы также вызвала интерес среди академических институтов, который поощрялся и поощряется Миссией.

Спланированы и введены факультативные занятия в этой области Индийским институтом технологий Дели (ИИТД), Индийским институтом науки (IISc) г. Бангалор, Османским университетом г. Хайдарабад. Началась работа студентов и аспирантов по нескольким научно-исследовательским проектам. Миссия планирует расширять эту деятельность, что позволит лучше понять и продвинуть решение вопросов утилизации летучей золы. Это также позволит ускорить появившуюся тенденцию развития и использования технологий в области удаления и утилизации летучей золы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Создание Миссии по проблеме летучей золы в Индии, имеющей совместный и партнерский режим работы с органами государственного и муниципального управления, производственными компаниями различных отраслей экономики, научными и учебными организациями, на основе хорошо продуманных стратегии и комплексного плана действий по менеджменту утилизации летучей золы, охватывающими весь спектр вопросов от научных исследований до опробования технологии и передачи ее в промышленность, показало успешный пример преодоления преград, использования возможностей и решений проблем летучей золы ТЭС и превращения ее из затратной в прибыльную составляющую экономики государства.

В. Кумар. Преграды, возможности и решения проблемы летучей золы энергетики в Индии // Материалы II научно-практического семинара «Золошлаки ТЭС: удаление, транспорт, переработка, складирование», Москва, 23–24 апреля 2009 г. — М.: Издательский дом МЭИ, 2009. С. 31 – 36.