



Рис.7. Залежність коливальності показателя M_{25} від коливальності насипної маси шихти

Коливальність вмісту класу 3-0 мм в шихті від 0,15 до 0,85 % обумовило коливальність показателів якості кокса M_{10} і M_{25} , відповідно, від 0,14 до 0,23 % (см. рис. 3) і від 0,2 до 0,45 % (см. рис. 6).

В свою чергу, коливальність насипної щільності угольної шихти, залежної від її вологості і крупності, визначає коливальність показателів якості кокса.

Зміна коливальності насипної щільності шихти за досліджувані періоди в межах 0,002-0,008 т/м³ втягує за собою коливальність по показателям M_{10} і M_{25} , відповідно, в межах 0,15-0,23 % (см. рис. 5) і 0,2-0,45 % (см. рис. 7).

Таким чином, досліджена нестабільність якості кокса, виражена в значній коливальності показателів міцності кокса M_{25} і M_{10} , обумовлена коливальністю показателів якості шихти, а саме зольності, вологості, крупності дроблення і насипної щільності. Коефіцієнт кореляції в встановлених відносинах між коливальністю показателів міцності кокса і коливальністю показателів якості шихти знаходиться в межах 0,612-0,835.

Стабільність властивостей кокса, в кінцевому рахунку, залежить від ефективності усереднення окремих компонентів угольної шихти при складуванні, так і усереднення шихти при дробленні.

Список літератури

1. О взаимосвязи показателей качества кокса и доменной плавки/ Ю.В. Степанов, А.И. Абрамичева, Р.Я. Колесникова и др.// Кокс и химия, № 7. – 1985. – 15 с.
2. Оценка влияния качества кокса на показатели доменной плавки / В.А. Улахович, В.И. Солодков, К.А. Штец и др.// Металлург, № 7. – 1982. – С. 16-18.
3. Мучник Д.А., Дробная Л.М. Влияние колеблемости качества кокса на работу доменных печей// Кокс и химия, №12. – 1974. С.9-12.
4. Определение равномерности показателей качества металлургического кокса / А.И. Шевченко, А.С. Цыновников, И.М. Лазовский и др.// Кокс и химия, № 1. – 1973. – С.23-27.
5. Об оценке технического уровня и качества металлургического кокса в связи с его аттестацией/ А.С. Цыновников, А.А. Филиппова, В.И. Плеханов и др. // Кокс и химия, №10. – 1976. – С. 9-15.
6. Об оценке колеблемости качества кокса/ А.А. Журавский, А.Н. Крюков, В.П. Махно и др.// Кокс и химия, № 8. – 1985. – С. 23-26.
7. Влияние равномерности качества угольной шихты и режима коксования на равномерность свойств кокса и показатели доменной плавки/ И.З. Шахова, Б.В. Боклан, П.Л. Сычѳв и др. // Кокс и химия, № 6. – 1977. – С.20-22.
8. Шахова И.З., Иваницкий В.Г., Шахова В.И. Технология подготовки угля на стадии усреднения для производства доменного кокса. Днепропетровск: Пороги. – 1997. – 248 с.

Рукопись поступила в редакцию 15.03.12

УДК 662.641

А.Д. УЧИТЕЛЬ, д-р техн. наук, проф., М.В. КОРМЕР, канд. хим. наук, доц.,

Е.О. ШМЕЛЬЦЕР, ст. преподаватель

КМИ ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

МЕТОДЫ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ СМЕРЗАНИЯ УГЛЕЙ ПРИ ИХ ТРАНСПОРТИРОВКЕ

В статье проанализированы основные факторы, влияющие на смерзаемость углей при их транспортировке в холодный период года, рассмотрены процессы тепло- и массообмена, происходящие в процессе смерзания. Приведены основные способы и средства предотвращения смерзания и восстановления сыпучести углей.

С наступлением холодного периода года уголь при транспортировке смерзается, т.е. при температурах ниже 0 °С теряет сыпучесть вследствие смерзания отдельных частиц груза между собой и примерзания их к днищу и стенкам вагона.

Промерзание угля представляет собой сложный теплофизический процесс, сопровождающийся миграцией влаги, изменением температуры, что в первую очередь зависит от температу-

ропроводности, теплопроводности и теплоемкости груза. На смерзаемость углей также влияют такие факторы, как продолжительность воздействия низких температур окружающей среды, влажность угля, степень его метаморфизма, а также состав минеральных примесей, гранулометрический состав, степень гидрофильности поверхности. Главная причина смерзания - влажность груза [1].

Воду в насыпных грузах в зависимости от характера ее связи с твердыми частицами материала, агрегатного состояния и подвижности можно подразделить на свободную и связанную. Соотношение между количеством свободной и связанной воды зависит от петрографических особенностей - степени метаморфизма, петрографического состава и дисперсности угля.

Свободная влага (гравитационная), имеющая физико-механические связи с топливом, образуется на границе раздела трех фаз (твердой, жидкой и газообразной) под действием капиллярных сил, и по своим свойствам не отличается от обычной воды и замерзает при температуре около 0 °С, а испаряется с такой же скоростью, как и чистая жидкость [2].

Связанная влага располагается непосредственно на поверхности частиц материала. При этом создается настолько большое силовое поле, что сложные агрегаты воды, попадая под его влияние, утрачивают водородные связи и превращаются в одинарные молекулы. В результате этого в момент взаимодействия воды с твердыми частицами она поглощает значительное количество энергии. Скрытая теплота такой адсорбированной воды значительно увеличивается, и она не замерзает при температурах до – 50-70 °С. Давление паров этой влаги над поверхностью значительно ниже, чем у чистой жидкости, поэтому она испаряется с меньшей скоростью, чем чистая жидкость [3]. Содержание связанной воды увеличивается с повышением дисперсности груза. Таким образом, увеличение содержания мелких классов в транспортируемых и хранимых при низких температурах углях вследствие многократного увеличения реакционной поверхности способствует усилению примерзания и смерзания топлива.

Влажность топлива, соответствующую содержанию в нем только незамерзающей влаги принято называть безопасной влажностью W^6 , значение которой зависит от степени метаморфизма угля [2]. Безопасная влажность увеличивается с ростом выхода летучих веществ и с уменьшением зольности топлива. Последнее связано с тем, что для минеральной части W^6 меньше, чем для органической. Увеличение зольности углей (повышение содержания глины и др. примесей, способных образовывать коллоидные растворы) ускоряет их примерзание и смерзание при перевозках и хранении. Безопасная в отношении смерзания влажность имеет наибольшее значение для малометаморфизированных углей, и снижается при переходе углей в средние стадии метаморфизма. Это объясняется различием пористой структуры поверхностных свойств углей различных стадий метаморфизма, определяющее полное внутреннее влагосодержание, фазовое состояние воды на поверхности частиц и прочность образовавшегося льда [4].

При влажности топлива, равной или меньшей безопасной, смерзание частиц не происходит, и оно сохраняет сыпучесть и при отрицательной температуре.

В процессе смерзания в вагоне взаимодействуют три материала: насыпной груз (уголь), материал железнодорожного вагона и окружающая среда (воздух). К основным составляющим смерзающихся грузов относятся твердый состав (частицы угля), вода в трех агрегатных состояниях и газы, заполняющие газовые промежутки. В условиях отрицательных температур насыпные грузы приобретают новые свойства, которые обуславливаются двумя факторами: перераспределением и переходом поровой влаги в лед и формированием охлажденной структуры и текстуры.

Перенос тепла в насыпных грузах осуществляется тремя способами: кондуктивным - через твердые частицы, жидкие пленки, включения, ледовые прослойки и воздушные поры; конвективным - при фильтрации жидкостей и газов, внутривагонной конвекции, миграции пленочной (связанной) влаги, испарения; лучистым – путем многократных актов излучения и поглощения лучистой энергии в последовательности поровых промежутков.

Свободная влага переходит в основном в прослойки льда. Связанная влага, обволакивая твердые частицы, образует тонкие пленки незамерзающей воды, находящиеся под действием силового поля частицы и имеющие пониженную температуру замерзания.

В смерзшемся грузе наблюдается резкое снижение миграции свободной влаги к днищу вагона, так как этому препятствуют ледовые прослойки. Основной перенос массы (влаги) осуществляется под воздействием градиента температур.

Твердые частицы отдают свое тепло пленкам незамерзающей влаги. Под воздействием этого тепла происходит испарение влаги с поверхности пленок. Эта влага попадает в воздушные поры или мигрирует по направлению теплового потока.

Кристаллы льда при понижении температуры также отдают часть тепла и влаги по направлению теплового потока. Незамерзающая влага и влага, не прошедшая процесс кристаллизации, в смерзшемся грузе составляют часть безопасной влажности. Таким образом, при смерзании происходит процесс перекристаллизации льда, уплотняющий кристаллическую решетку и формирующий прочностные параметры смерзшегося груза [3].

Показателем оценки влияния влаги на смерзаемость углей является удельное усилие, затрачиваемое на раздавливание смерзшихся образцов при одинаковых отрицательных температурах. Прочность смерзания частиц топлива увеличивается с увеличением влажности и понижением температуры. Зависимость разрушающего усилия от влажности и температуры можно выразить эмпирической формулой, кгс/см²

$$P=(0,0135 W^a-0,525) \cdot T-0,005,$$

где W^a - абсолютная влажность угля, т.е. влага, отнесенная к сухой массе угля, %; T - температура, °С.

При наличии у топлива смерзшейся влаги изменяется его диэлектрическая постоянная. Для влажных топлив она резко уменьшается при отрицательной температуре, что можно объяснить тем, что диэлектрическая постоянная льда в 30-40 раз меньше, чем у воды [2].

Так как теплопроводность различных углей колеблется в незначительных пределах от 0,15 до 0,3 ккал/ч·м·°С [6], то смерзание их начинается одновременно с примерзанием угольной массы к стенкам вагонов. Далее в зависимости от температуры окружающего воздуха и времени пребывания процесс смерзания распространяется во всех направлениях [5]. Прочность примерзания углей, кроме влажности и температуры наружного воздуха, зависит от материала, из которого изготовлено транспортное устройство.

Усилия отрыва слоя угля, примерзшего к стенкам, выполненным из различных материалов при температуре -15 °С по данным [2], приведены в табл. 1.

Таблица 1

Усилия отрыва примерзшего слоя угля

Материал	Усилие отрыва, гс/см ²
Сталь	800
Дерево	730
Алюминий	330
Оргстекло	280
Эбонит	190
Поливинилхлорид	130
Фторопласт	130

Для выбора методов предотвращения смерзания угля необходимо установить интенсивность его промерзания в процессе транспортировки.

Если считать, что груз после погрузки принимает форму параллелепипеда, то в соответствии с основными понятиями теории теплопередачи, можно предположить, что здесь происходит трехмерный теплообмен.

При этом наиболее интенсивно груз промерзает в вершинах углов, где теплообмен между грузом и окружающей средой протекает одновременно и с одинаковой интенсивностью (трехмерный теплообмен); меньшая интенсивность промерзания наблюдается на гранях, образующихся при пересечении горизонтальных поверхностей груза и стенок вагона (двухмерный теплообмен); с еще меньшей интенсивностью происходит теплообмен через открытую наружную поверхность и через днище вагона (одномерный теплообмен).

Учитывая, что степень промерзания угля в разных местах вагона неодинакова, и для каждой любой точки трудно ее установить, необходимо выбирать наиболее характерную зону, в которой интенсивность промерзания груза можно было бы принимать за исходное состояние при выборе методов борьбы со смерзанием. В качестве такой зоны можно принять зону по вертикальной оси, проходящую через массу груза в точке, расположенной на пересечении продольной и поперечной осей вагона.

Для решения задач и выбора способа борьбы со смерзанием процесс промерзания груза в

центральной части по вертикальной оси можно рассматривать как процесс, состоящий из трех стадий:

состояние груза, при котором температура его понижается от начальной до наступления промерзания на поверхности массы груза в точке, находящейся на пересечении продольной и поперечной осей вагона;

состояние груза, когда температура его понижается от начала промерзания в центре поверхности до начала промерзания в центре массы груза;

состояние груза, при котором температура его понижается от значения, характеризующего окончание второй стадии, до температуры окружающей среды. Этого уровня достигает температура груза в вершинах углов, затем - на гранях пересечения вертикальных и горизонтальных плоскостей, являющихся контуром грузовой массы, и в центре этой массы.

Таким образом, можно сделать вывод, что промерзание на начальной стадии будет наблюдаться в вершинах углов груза и на гранях, образованных пересечением вертикальных и горизонтальных плоскостей, которыми околонтурен погруженный в вагон груз.

На второй стадии промерзание груза происходит до тех пор, пока грани смерзшейся и несмерзшейся частей в массе груза не сойдутся. При этом в условиях равномерного со всех сторон охлаждения границы раздела сойдутся в центре загрузки, а при неравномерном – с некоторым отклонением в сторону, противоположную от наиболее интенсивного охлаждения.

Интенсивность промерзания на первой и второй стадиях можно установить исходя из равенства количества тепла, отнимаемого от массы смерзающегося груза и передаваемого в окружающую среду через поверхности теплообмена.

На третьей стадии основным показателем является изменение температуры груза в зависимости от времени. Эту температуру за каждый данный период, считая от окончания второй стадии промерзания, определяют по методу регулярного режима.

Анализ факторов, влияющих на смерзание углей, изучение процессов тепло- и массопереноса и интенсивности промерзания углей в процессе транспортирования лежат в основе разработки методов борьбы со смерзаемостью.

В настоящее время все меры предотвращения смерзания углей можно разделить на две группы: профилактика смерзания и восстановление сыпучести смерзшихся углей перед выгрузкой или в процессе выгрузки.

К первой группе мероприятий относятся:

обезвоживание и сушка угля. Механическое обезвоживание и сушка угля осуществляются как завершающий этап процесса мокрого обогащения. Обезвоживанию подвергают концентрат, шламы. Для снижения влажности углей после мокрого обогащения применяют механическое обезвоживание с помощью обезвоживающих грохотов, центрифуг, а также вакуум-фильтров. Применение механического обезвоживания не обеспечивает снижение влаги до безопасного предела, поэтому уголь подвергают термической сушке, доводя содержание влаги в них до возможно меньшего значения, определяемого экономикой и условиями безопасности работы [8]. Этот способ один из самых дорогих процессов. Так в себестоимости обогащения 1 т рядовых углей 23-25% приходится на сушку.

перемешивание влажных углей с сухими. Метод основан на поглощении сухим углем влаги, содержащейся во влажном угле. Перемешивание влажных углей с сухими можно осуществлять разными способами. Распространенным способом является их послойная пересыпка путем чередования сухого и влажного углей в процессе погрузки. При этом сначала на дно полувагона загружается слой сухого угля. Далее загрузка вагона должна производиться так, чтобы высота сухого угля была равна двойной высоте влажного. Верхний слой должен быть образован из сухого угля. Этот метод нельзя признать эффективным, так как он требует наличие сушильных установок; дополнительных операций при погрузке, что снижает производительность труда, приводит к дополнительному простоям и маневрированию вагонов при погрузке. Вместе с тем на обогатительных фабриках способ перемешивания сухих углей с влажными находит применение в довольно значительных масштабах.

перемораживание углей. В основе способа удаления поверхностной влаги, являющейся первопричиной смерзания сыпучих материалов, путем ее вымораживания (сублимации) лежит процесс тепло- и массообмена между влажным материалом и обдувающим его холодным воздухом. Сущность применяемого предварительного перемораживания заключается в перелопачивании

чивании их с помощью механизмов (бульдозеров, экскаваторов) и последующего выдерживания на морозе. Операция повторяется неоднократно до обеспечения сыпучести углей или их полного смерзания и последующего дробления с таким расчетом, чтобы обеспечить свободную выгрузку вагонов. Такой способ требует дополнительных механизмов и штата. Применение механизмов приводит к дополнительному измельчению углей [9]. Кроме этого этот метод полностью не исключает возможность смерзания углей при временном наступлении оттепели. Поскольку предварительное перемораживание углей не исключает их смерзания, а лишь частично ослабляет примерзание углей к стенкам вагонов этот метод нельзя считать рациональным.

покрытие углей или стенок полувагонов гидрофобными профилактическими средствами следует считать одним из эффективных и экономических средств борьбы со смерзанием. Для предотвращения смерзаемости используют такие антисмерзающиеся компоненты (АСК): хлористый кальций (CaCl_2); оксид кальция (CaO); хлористый магний (MgCl_2), который можно использовать как в твердом виде, так и в виде раствора («Бишофит» ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)); минеральные и каменноугольные масла и другие реагенты органического происхождения (ниогрин – побочный продукт при производстве нефтяного кокса из тяжелых остатков сернистых и высокосернистых нефтей Башкирии; северин – то же, что ниогрин, но со специальными добавками, понижающими температуру застывания).

Ко второй группе относятся: тепловое воздействие путем разогрева вагонов с примерзшим или смерзшимся углем в специальных гаражах (тепляках) и механическое воздействие с помощью бурорыхлительных, виброударных и виброрыхлительных машин.

Целесообразность и область применения тех или иных способов и средств восстановления сыпучести устанавливается, в основном, стоимостью, условиями безопасности.

Стоимость восстановления сыпучести груза с использованием тепляков, бурильных установок и другими средствами в десятки раз выше стоимости профилактических мероприятий по предупреждению примерзания грузов к поверхности.

Наиболее перспективным методом борьбы со смерзаемостью, является использование средств уменьшающих температуру застывания активной части влаги и снижающих прочность смерзания. Профилактическое средство своим действием должно либо нейтрализовать (образовывать незамерзающий раствор) смерзающуюся влагу, либо разделить частицы угля рыхлой прослойкой, либо снизить (за счет поглощения) до безопасного в отношении смерзания предела, либо сохранить температуру груза положительной в процессе перевозки; быть безвредным для обслуживающего персонала; не вызывать коррозию металлических деталей; не ухудшать качество продукции; минимально отражаться на использовании грузоподъемности вагона; не требовать особых условий для хранения их в пунктах погрузки.

Список литературы

1. Матасов С.Ф., Куртунов Л.М., Хорунжий А.С. Борьба со смерзаемостью при перевозке по железным дорогам. М.: Металлургия. 1974. – 248 с.
2. Михайлов Н.М., Шарков А.Т. Физические свойства топлива и борьба с затруднениями на топливоподаче электростанций. М.: Энергия. 1974. – 264 с.
3. Лепнев М.И., Северинов Э.П. Грузы и мороз. М.: Транспорт. 1988. – 143 с.
4. Еремин И.В., Лебедев В.В., Цикарев Д.А. Петрография и физические свойства углей. Москва: Недра, 1980. – 263 с.
5. Иванов В.М., Радовницкий И.В. Предотвращение потерь и смерзаемости углей при транспортировании. М.: Недра. 1979. – 149 с.
6. Агроскин А.А. Физические свойства углей. Metallurgizdat, 1961.
7. Агроскин А.А., Григорьев С.М., Петренко И.Г., Питин Р.Н. Насыпной вес угля для коксования. Издательство АН СССР, 1956.
8. Кожевников Н.Н., Попов В.И. Прогнозирование процессов промерзания в сыпучих материалах при железнодорожных перевозках. Новосибирск: Наука, 1978. – 104 с.
9. Парунакян В.Э., Снявская Р.И. Борьба с прилипанием и примерзанием горной массы к рабочим поверхностям транспортного оборудования на карьерах. Москва: Недра, 1975 - 139 с.

Рукопись поступила в редакцию 15.03.12