

Зависимость удельных перепадов давления от температуры для производительностей $Q_1=10$ м³/ч и $Q_2=20$ м³/ч и одном внутреннем радиусе трубопровода ($R_1=0,025$ м или $R_2=0,025$ м) представлена графически на рис. 8, 9.

Заключение

Как видно из результатов исследований, повышение температуры суспензии до 43-46 °С приводит к снижению удельных гидравлических сопротивлений в трубопроводе:

- с радиусом $R=0,025$ м на 66-68% абсолют-

ных значений (марка «КС») и 42-43% (марка «Т»);
- с радиусом $R=0,05$ м - на 43-53% («КС») и 29-35% («Т»).

Таким образом, при проектировании промышленных технологических комплексов следует принимать во внимание полученную зависимость вязкости от температуры и при технической возможности и экономической целесообразности необходимо использовать устройства для подогрева перекачиваемой суспензии до температуры 42,0-43,0 °С.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Физико-технические основы водоугольного топлива. В.И. Мурко, В.И. Федяев, В.А. Хмяляйнен. Кемерово. Кузбассвуиздат, 2009.
2. Штиллер В... Уравнение Аррениуса и неравновесная кинетика. Изд-во Мир, 2000.

□ Авторы статьи:

Мурко
Василий Иванович,
докт.техн.наук., профессор каф.
теоретической и геотехнической
механики КузГТУ,
тел. 89617177514,
e-mail: sib_eco@kuz.ru

Вахрушева
Галина Дмитриевна,
ведущий инженер СибГИУ,
тел. 89617177488

Федяев
Владимир Иванович,
генеральный директор
ЗАО НПП «Сибэкотехника»,
тел. 89617177459

Карпенко
Виктор Иванович,
старший научный сотрудник
(СибГИУ),
тел. 89617177459

Мастихина
Вера Павловна,
старший научный со-
трудник (СибГИУ),
тел. 89617177496

Дзюба
Дмитрий Анатольевич,
старший научный сотрудник,
(СибГИУ),
тел. 89617177430

УДК - 622.794.4:622.66:543.818

А.А. Гуцин, А.Ю. Ермаков, Г.В. Иванов

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ВЛАГОПОГЛОЩЕНИЯ ВЫСУШЕННЫМИ ПРОДУКТАМИ УГЛЕБОГАЩЕНИЯ

Влагопоглощением угля называется его способность поглощать воду из окружающего воздуха, при этом в угле увеличивается содержание связанной воды. Влагопоглощение зависит от температуры и относительной упругости пара воздуха. Поглощение воды из воздуха происходит постепенно, замедляясь до предела гигроскопичности.

В условиях необходимости увеличения конкурентоспособности угольной продукции обогатительных фабрик, наряду со снижением зольности

и содержания серы, снижение влажности углей после их переработки является важной задачей, решение которой позволяет снизить объемы перевозок транспортом балласта в виде избыточной воды, предотвратить смерзаемость угля в вагонах в зимнее время и снизить сверхнормативные простои вагонов под выгрузкой, улучшить технико-экономические показатели перерабатывающих производств: коксохимических заводов, тепловых электростанций и промышленных котельных, не допускать сверхнормативных выбросов в окру-

Таблица 1 Равновесная влажность угля при относительной влажности воздуха

№ п/п	Температура воздуха, °С	Равновесная влажность угля при относительной влажности воздуха, %			
		10	30	50	80
1	2	3	4	5	6
1	25,5	-	13,2	15,8	25,5
2	55,0	4,3	9,8	11,3	17,0
3	85,0	3,3	6,1	7,5	10,8

жающую среду и улучшать условия труда.

Актуальной для России проблемой является разработка оптимальных технологий, обеспечи-

вающих высокую эффективность удаления влаги из угольной продукции с учетом норм и показателей, основывающихся на изучении угольной про-

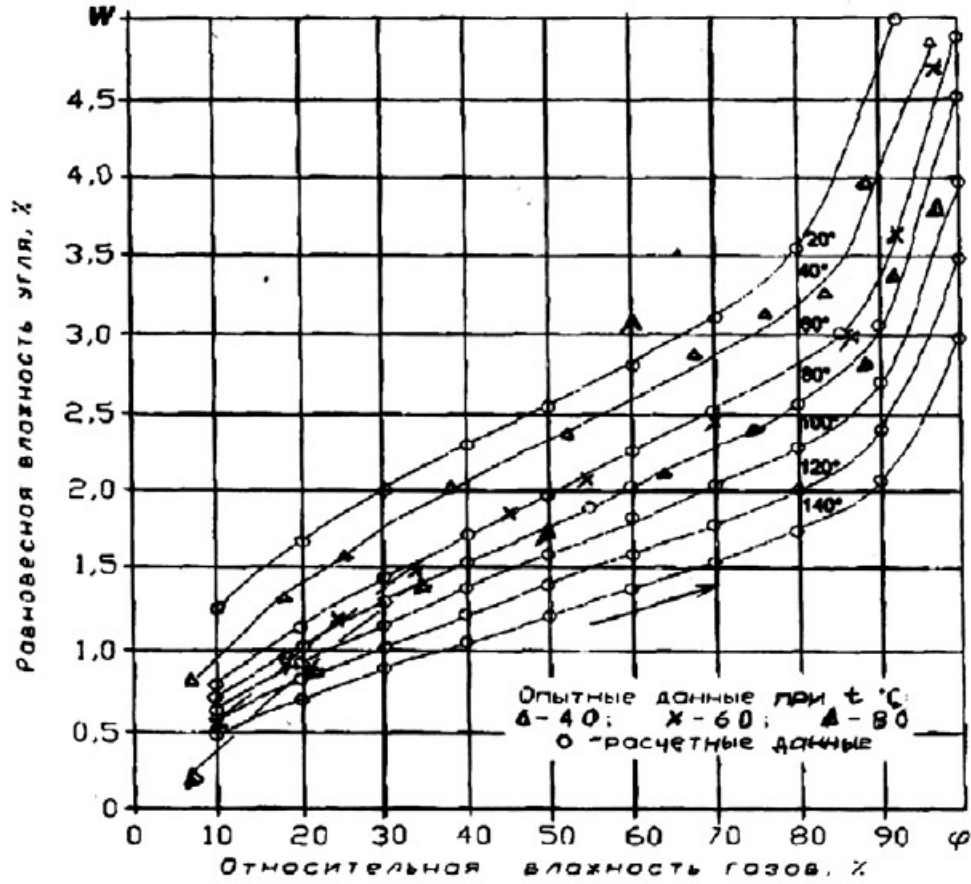


Рис.1. Опытные и расчетные кривые десорбции газового угля

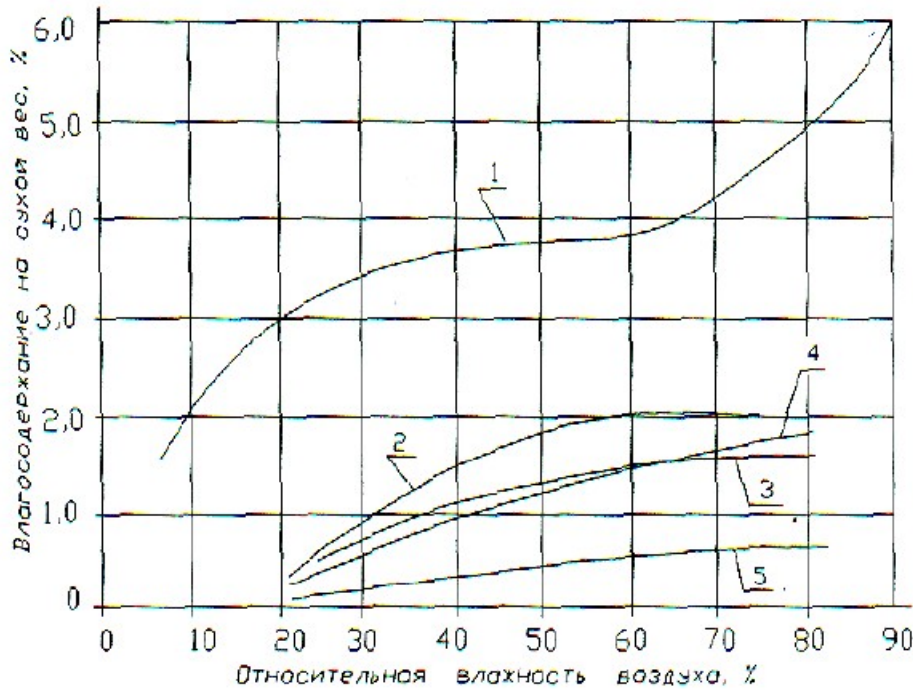


Рис.2. Гигроскопическая влажность продуктов угля: 1 - сажа (для резинового производства), 2 - кокс (из иллинойского угля), 3 - титсбургский кокс, 4 - кокс для домашних печей, 5 - конельсвильский кокс

дукции по видам связи влаги с углем, являющимся объектом механического и термического обезвоживания и смерзаемости при перевозках в условиях отрицательных температур.

Влажность обезвоживаемых продуктов зависит от гигроскопичности, крупности исходного материала и от способа обезвоживания.

Обычно влажность обезвоженных продуктов характеризуется содержанием общей влаги. Этот показатель включает гравитационную капиллярную и гигроскопическую влагу. Последняя не удаляется в операциях обезвоживания, поэтому общая влага может характеризовать эффективность работы обезвоживающих аппаратов только в случае, если на обезвоживание поступает материал одинакового минерального и гранулометрического состава.

Внешнюю влагу делят на гравитационную, капиллярную, пленочную и гигроскопическую:

- свободная (гравитационная) удаляется под действием сил тяжести; продукты обогащения представляют собой суспензии;

- капиллярная удерживается силами капиллярного давления и удаляется с помощью внешних сил; продукты называются влажными (мокрыми);

- пленочная удерживается на поверхности частиц силами молекулярного притяжения между молекулами воды и частиц; продукты называют воздушно-сухими;

- гигроскопическая содержится в сухих продуктах и удерживается на поверхности частиц адсорбционными силами в виде мономолекулярных пленок.

В зависимости от крупности и евлажности материала используют различные методы обезвоживания: для сравнительно крупных частиц – дренирование, иногда центрифугирование; для мелких ц – сгущение и фильтрование. Для высокой эффективности последовательно применяется несколько способов обезвоживания. Последней операцией обезвоживания часто является термическая сушка.

На углеобогащительных фабриках термической сушке подвергают флотационный концентрат (0-0,5 мм) влажностью 22 - 26%, мелкий концентрат (0-13 мм) влажностью 9-12%, шлам (0-3мм) влажностью 22-25%. На сушку эти продукты подают порознь или в смеси.

Механизм сушки влажных материалов определяется видом связи влаги с материалом и режимом сушки. При сушке угля удаляется влага, связанная с углем физико-механически и частично физико-химически. При этом в первую очередь удаляется капиллярная влага макропор, затем осмотическая влага, капиллярная влага микропор и адсорбционная влага.

Среди видов влаги с точки зрения классификации углей, характеристики стадии метаморфизма, а также их окисленности, важное значение

Таблица 2. Максимальная молекулярная влагоемкость (ММВ) классов крупности разных групп углей

Условная группа		Широкая классификация		Узкая классификация			
		класс крупности, мм	ММВ, %	класс крупности, мм	ММВ, %		
Длиннопламенные и газовые угли (концентрат)		-6	10,8-13,3	3-6	7,6-9,2		
		-3	11,7-14,3	1-6	7,8-9,6		
		-1	12,8-15,7	0,5-3	11,3 -13,8		
		-0,5	13,8-16,9	0,5-1	10,2-12,5		
		-0,2	15,2-18,5	0,2-1	11,7-14,2		
		-0,063	21,5-26,3	0,2-0,5	13,0-15,9		
Кокующиеся угли		мелкий концентрат - 05 5%		0,063-0,2	10,6-13,0		
				-13	1,8-2,2	5-13	1,6-2,0
		флотоконцентрат		-5	2,8-3,4	3-13	1,9-2,3
				-3	2,7-3,3	3-5	2,6-3,1
				-0,5	9,7-11,8	0,5-3	2,7-3,3
				-1	15,0	0,5-1	4,6-5,6
				-0,5	14,1-17,3	0,2-1	5,8-7,1
				-0,2	18,5-22,5	0,2-0,5	6,2-7,6
-0,063	20,0-24,4	0,063-0,2	7,6-9,3				
Тощие угли (концентрат)		-6	9,2-11,2	3-6	5,6-6,8		
		-3	9,2-11,2	1-3	6,9-8,5		
		-1	18,4-22,4	0,5-1	8,4-10,3		
		-0,5	14,7-17,9	0,2-0,5	8,8-10,7		
		-0,2	18,3-22,3	0,063-0,2	13,8-16,8		
		-0,063	27,0-33,0				
Антрацит (концентрат)		-5	2,6-3,2	3-5	2,4-3,0		
		-3	3,4-4,2	1-3	3,0-3,7		
		-1	4,5-5,5	0,5-1	3,7-4,6		
		-0,5	5,9-7,2	0,2-0,5	4,4-5,3		
		-0,2	11,7-14,4				

имеют влага гигроскопическая $W^{гг}$ и максимальная влагоёмкость W_{max} . [1]

В процессе метаморфизма угольное вещество претерпевает изменения под воздействием внешних сил и структурных изменений органической массы. В результате этого происходит образование и изменение пористой структуры угольного вещества, размера и общего объема пор.

На ранних стадиях углеобразования в органической массе содержится много полярных групп и угольное вещество имеет разветвленную систему крупных пор, с чем связана их высокая способность к адсорбированию влаги. С ростом метаморфизма содержание полярных групп уменьшается, при этом уменьшается число крупных пор, образуется новая система микропор, которые играют основную роль при взаимодействии углей с газами и жидкостями.

Поры в углях можно разделить на макропоры со средним диаметром $5 \cdot 10^{-7}$ м (500 Å) и микропоры с диаметром $(5+15) \cdot 10^{-9}$ м (5-15 Å). Площадь внутренней поверхности макропор составляет примерно $1 \text{ м}^2/\text{г}$, а микропор $200 \text{ м}^2/\text{г}$.

При соприкосновении гигроскопичного материала с воздухом, поглощение им влаги из воздуха возможно только в том случае, если влажность материала будет ниже равновесной влажности, величина которой зависит от относительной влажности воздуха, что отражено в табл. 1.[2]

Анализ данных табл. 1 показывает, что величина равновесной влажности определяется относительной влажностью и температурой окружающего воздуха, то есть: чем ниже температура окружающего воздуха и чем выше относительная влажность воздуха, тем большую равновесную влажность приобретает высушенный угольный концентрат.

Если уголь высушен до влажности, более высокой чем равновесная, то по пути от сушилки к потребителю он будет отдавать влагу в воздух. Если же уголь высушен до влажности, меньшей чем равновесная, то по пути от сушилки к потребителю он будет поглощать влагу из воздуха.

Равновесная влажность любого сыпучего материала, зависит от температуры и относительной влажности окружающего воздуха и приближённо выражается уравнением сорбции Лэнгмюра:

$$W_{равн} = (A - Bt) \times \left(\frac{f}{C - f} \right)^{0.5}$$

где t, f - соответственно: температура °С, относительная влажность %; A, B, C - индивидуальные коэффициенты, которые определяются при исследовании физико-химических свойств углей на стадии подготовки к проектированию сушильной установки.

Исследования равновесной влажности газового угля класса 0-1мм проведены в ОАО «СибНИИ-углеобогащение» в климатической камере типа ТВ-300, где относительная влажность и темпера-

тура воздуха поддерживались в автоматическом режиме. Полученные результаты показаны на рис. 1, которые согласуются с вышеприведенными выводами: чем выше относительная влажность и чем ниже температура воздуха, тем выше равновесная влажность.

Из рис. 1 следует:

- при постоянной температуре окружающего воздуха увеличение равновесной влажности возможно только при увеличении относительной влажности (увлажнении) воздуха (на рис. 1 - наклонная линия от $f = 50\%$ к $f = 60\%$);

- при постоянной относительной влажности окружающего воздуха увеличение равновесной влажности возможно только при снижении температуры воздуха (на рис. 1 - вертикальная линия от точки на кривой $t=80$ °С до точки на кривой $t=20$ °С).

Достаточное представление о величине гигроскопической влажности продуктов угля даёт рис. 2 [3, стр. 26].

В соответствии с ГОСТом 17070-87. «Угли. Термины и определения» различают следующие виды влаги угля: общая, пластовая, внешнюю, свободная, связанная (ранее внутренняя), поверхностная (ранее избыточная), аналитическая, гигроскопическая, рабочая, максимальная влагоёмкость.

Гигроскопическая влага ($W^{гг}$) - адсорбированная углём вода. Сохраняется в высушенном до воздушно-сухого равновесного состояния угле при определённой температуре и влажности. В соответствии с ГОСТ 8719-70 к гигроскопической относят влагу угля, доведенного до воздушно-сухого равновесного состояния в атмосферном воздухе при температуре 20 ± 5 °С и относительной влажности 60 ± 2 %. В отличие от аналитической гигроскопическая влага - устойчивая характеристика угля, отражающая его пористую структуру, гидрофильные свойства органических и минеральных компонентов.

Влагоёмкостью угля называется количество поглощаемой им влаги, которая не удаляется механическим обезвоживанием.

Максимальная влагоёмкость (W_{max}) - количество влаги после удаления избыточной влаги. Максимальная влагоёмкость отражает химическую природу угля, петрографический состав и стадию метаморфизма.

Максимальной молекулярной влагоёмкостью (ММВ) называется верхний предел содержания влаги в угле, не удаляемой при механическом обезвоживании. ММВ зависит от крупности и пористости угля, смачиваемости частиц и определяется опытным путем.

По известной величине ММВ данного угля можно определить эффективность его обезвоживания в различных аппаратах.

В работе [4] приведены результаты исследований максимальной молекулярной влагоёмкости

углей различных марок и различных классов. В статье не поясняется смысловая нагрузка понятия «максимальная молекулярная влагоемкость» и не описана методика производства анализов.

В сушильной технике влажность материала классифицируют на равновесную, избыточную и гигроскопическую.

Под равновесной понимают влажность материала, при которой давление водяных паров над материалом равно парциальному давлению пара в окружающем воздухе. При определенных параметрах окружающего воздуха или сушильного агента (температуре и давлении) снижение влажности угля ниже равновесной невозможно.

Избыточная влажность обусловлена той влагой, которая может быть удалена в процессе сушки при доведении материала до равновесной влажности.

Гигроскопическая влажность — это влажность материала в гигроскопическом состоянии, т.е. состоянии, при котором материал способен поглощать влагу. Гигроскопическая влажность материала меняется в зависимости от относительной влажности окружающей среды. Влажность материала при относительной влажности воздуха, равной 100%, называется максимальной гигроскопической влажностью.

Механизм удаления влаги из угля в процессе сушки [5]. Особенность сушки — переход влаги материала из жидкой фазы в газообразную в результате испарения, когда парциальное давление пара окружающей среды меньше, чем парциальное давление пара влаги материала.

С уменьшением разности давлений интенсивность испарения влаги из материала снижается и при разности давлений, равной нулю, сушка прекращается.

Сушка характеризуется изменением влажности и температуры материала, а также скоростью сушки.

В процессе сушки до влажности материала, соответствующей максимальной гигроскопиче-

ской влажности, избыток свободной влаги испаряется. При влажности материала ниже максимальной гигроскопической влажности уменьшение влажности сопровождается ростом удельной теплоты испарения влаги, что свидетельствует об изменении физического состояния системы. В этом периоде испаряется связанная влага и тепло затрачивается не только на фазовое превращение воды в пар, но и на разрушение связи влаги с материалом.

Наиболее экономичный и безопасный режим сушки угля — режим, соответствующий периоду постоянной скорости сушки, при котором удаляется только свободная влага. Скорость сушки определяется скоростью диффузии влаги в объеме частиц. В этом случае скорость сушки максимальна и температура материала соответствует температуре мокрого термометра. При более глубокой сушке скорость процесса уменьшается, а температура высушенного угля повышается. В результате этого происходит пересушивание материала, пылевыведение и увеличение возможности засорения воздушного бассейна. Это обстоятельство должно учитываться при обосновании влажности высушенного продукта и выборе режима сушки того или иного угля.

Таким образом, сухой (после сушки) материал, помещенный во влажную атмосферу, путем адсорбции и последующей капиллярной конденсации увлажняется до равновесного состояния (с относительной влажностью воздуха). Очевидна необходимость вести процесс сушки, не допуская пересушивания, приводящего к росту экономических затрат, увеличению потерь из-за уноса пыли с сушильными газами, загрязнению окружающей среды и вероятности возникновения аварийных ситуаций. Что касается вопроса смерзаемости угля при транспортировке его потребителям, то решением данной проблемы может быть использование современных методов и материалов, предотвращающих смерзаемость и пыление угля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ерёмин И.В.* Петрология и химико-технологические параметры углей Кузбасса / А.С. Арцер, Т.М. Броннец - Кемерово, 2000, с. 226 -233.
2. *Михайлов Н.М.* Вопросы сушки топлива на электростанциях. - М.: Госэнергоиздат, 1957.
3. *Перри Дж.* Справочник инженера-химика, т. 1. Перевод с англ. под общ. ред. С.Л. Либинсона, СИ. Щепкина. - М.: ОНТИ ГРХЛ, 416 с..
4. *Молчанов А.Е.* Оптимизация технологических схем углеобогащительных фабрик по показателям влажности угольной продукции. - Уголь, 1996, № 6, с. 52-56.
5. *Беловолов В.В.* Техника и технология обогащения углей. / Ю.Н. Бочков, М.В. Давыдов и др.; Под ред. В.А. Чантурия / - М.: Наука, 1995. с.324-326

□ Авторы статьи:

Гушин,
Алексей Алексеевич,
зам.исполнительного директора (Сибирский НИИ углеобогащения,
г. Прокопьевск)
Т. 8 909-512-68-64

Ермаков
Анатолий Юрьевич,
канд. техн. наук, исполнительный директор (Сибирский НИИ углеобогащения, г. Прокопьевск)
Тел. 8 903-942-30-78

Иванов
Геннадий Викторович,
докт. техн. наук, проф. каф. АОТиП
КузГТУ.
Тел. 8 905-912-61-16
Email: givanov01@mail.ru