

# Влага в углях как параметр качества продукции

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2016-8-125-128>

**ЧЕРНЫШЕВА Елена Николаевна**

*Инженер-технолог «Коралайна Инжиниринг»,  
105005, г. Москва, Россия,  
e-mail: enc@coralina.ru*

**Рассмотрены современные представления о видах влаги в углях. Приведены действующие в настоящее время в России стандарты определения влаги в углях.**

**Ключевые слова:** *влага в угле, внешняя влага, воздушно-сухое состояние топлива, адсорбционная вода, капиллярная вода, свободная вода.*

В настоящей статье хотелось бы еще раз обратить внимание на вопросы определения влажности углей. Влажность конечной продукции добывающих и перерабатывающих уголь предприятий остается одной из важнейших товарных характеристик, которая вместе с марочной принадлежностью и зольностью оказывает непосредственное влияние на теплоту сгорания топлива – еще один важнейший показатель качества продукции. Влага, содержащаяся в углях, требует дополнительных энергетических затрат на испарение, тем самым снижая калорийность угля и, соответственно, его рыночную стоимость. Кроме того, повышенная влажность товарной продукции создает проблемы с транспортировкой, способствует смерзаемости угля в вагонах и штабелях в зимнее время года. Поэтому на рынке установлено требование к общей влаге товарных концентратов каменных углей в зимнее время года не более 7% веса. В летнее время года допускается более высокое значение общей влажности угля, которое может находиться в пределах 8-10% при условии сохранения сыпучести угля. Если для углей средней и высокой стадий метаморфизма указанные значения общей влаги продукции можно обеспечить, иногда даже без применения термической сушки угля, то для каменных углей низшей стадии метаморфизма (марки Д и Г) минимальные значения общей влаги продукции без сушки составляют 13-16%, что обусловлено высокой внутренней влажностью этих углей.

В специальной литературе для описания состояния влаги в угле применяются различные термины. Обратимся к межгосударственному стандарту ГОСТ 17070-2014 «Угли. Термины и определения», последние изменения в который были внесены 22.09.2015 [1]. В тексте стандарта даны определения таких понятий, как внешняя влага, влага воздушно-сухого состояния, связанная, аналитическая, гигроскопическая и др.

Влага может быть свободной и связанной. Связанная влага – влага, удерживаемая сорбционными и капиллярными силами. В состав связанной влаги входит и гидратная влага, химически связанная с минеральной (зольной) частью угля и не удаляемая при высушивании в установленных стандартами условиях. Свободная влага удаляется под действием силы тяжести, при вибрационном встряхива-

нии угля на сите грохота или под действием центробежных сил в центрифугах. Количество связанной влаги определяется химическим составом вещества угля, соотношением петрографических компонентов, степенью углефикации и гранулометрическим составом.

Связанная влага в угле находится в различных состояниях: удерживаемая капиллярными силами в трещинах и порах, в виде пленок, адсорбированных на поверхности угольных частиц. Степень силового воздействия для удаления этой влаги из угля зависит от прочности физических связей молекул воды с поверхностью угля.

Различают наиболее прочно удерживаемый водородными связями на твердой поверхности угля мономолекулярный слой воды и последующие слои молекул воды, связь которых ослабевает в зависимости от расстояния от поверхности угля по закону ван-дер-ваальсовых сил. Эта адсорбированная вода, которая, смачивая твердую поверхность угля, образует пленку на стенках трещин и пор. Способность функционально активных участков угольной поверхности адсорбировать воду при соприкосновении с водой приводит к заполнению трещин и пор частиц водой за счет действия сил поверхностного натяжения воды. Поверхностное натяжение жидкости и создает эффект капиллярной силы. Таким образом, при смачивании водой функциональных участков поверхности угля под действием капиллярной силы вода может втягиваться в открытые трещины и поры.

Адсорбированная вода обладает физическими особенностями, отличающими ее от свободной воды. Например, вода в этом состоянии замерзает при отрицательных температурах от -30 до -4°C, однако с увеличением числа слоев молекул воды, удерживаемых на поверхности угля, связи ослабевают, и удаленные слои воды приближаются по своим свойствам к свободной влаге. Адсорбированная влага может быть удалена из углей только термической сушкой.

В углях низших стадий метаморфизма содержится много полярных групп и наблюдается разветвленная система крупных пор со средним диаметром  $>5 \cdot 10^{-8}$  м. Площадь внутренней поверхности пор в этом случае составляет около 1 кв. м/г.

С ростом степени метаморфизма содержание полярных функциональных групп уменьшается, достигая минимума в антрацитах. Угольное вещество уплотняется, крупные поры исчезают, и у углей средней стадии метаморфизма наблюдается минимальная пористость. В углях высокой степени метаморфизма – антрацитах образуется новая система микротрещин размером  $\sim 5 \cdot 10^{-10}$  м, которые имеют уже внутреннюю поверхность  $\sim 200$  кв. м/г [2]. Наблюдаемое повышение количества адсорбированной влаги в угле марки А обусловлено, скорее всего, ростом открытой поверхности угольных частиц по причине микротрещиноватости, даже вопреки снижению количества активных функциональных групп на угольной поверхности.

Свободную и слабосвязанную поверхностную влагу и часть капиллярной влаги можно удалить способами механического обезвоживания. Воду из закрытой системы пор, образовавшуюся при генезисе угля, можно удалить только после дробления и измельчения угля. После измельчения до определенного класса крупности оставшаяся часть капиллярной и адсорбированной влаги остается в угле даже после интенсивного воздействия дополнительных сил в центрифугах и фильтр-прессах. Эту остаточную влагу для угля в целом и для каждого класса крупности условно можно назвать «внутренней».

В ГОСТах общая влага обозначается  $W_t$ , она складывается из влаги внешней  $W_{ex}$  и влаги воздушно-сухого топлива  $W_{f,в}$ . Эти виды влаги определяют по стандартным методикам.

Значение внешней влаги является неустойчивым и зависит от температуры и влажности атмосферы в лаборатории. Содержание влаги в измельченном угле зависит от химического состава и структуры угольного вещества и степени его измельчения, для получения сравнимых результатов влажности необходимо унифицировать условия приведения угля определенной крупности к равновесному состоянию с атмосферой лаборатории. Для чего используются термины «гигроскопическая влага» и «максимальная влагоемкость». Эти показатели определяют положение угля в классификационном ряду углефикации, их значения приведены в справочниках по углям и указываются в сертификатах качества продукции предприятий.

Гигроскопическая влага  $W^{гн}$  – это максимально возможное значение удерживаемой влаги углем аналитической крупности (<0,2 мм), находящейся в равновесии с атмосферой, относительная влажность которой составляет  $60 \pm 2\%$  при температуре  $20 \pm 5^\circ\text{C}$  (ГОСТ 8719-90) [3]. Гигроскопическая влага зависит только от свойств конкретного угля и не зависит от атмосферы лаборатории.

Максимальная влагоемкость  $W_{max}$  – это содержание общей влаги в угле в состоянии полного насыщения его водой в установленных стандартом условиях. Это состояние, когда уголь извлечен из воды и с него удалена свободная влага. Таким образом, это максимально возможное значение удерживаемой углем влаги аналитической крупности.

Гигроскопическая влага в генетическом ряду каменных углей имеет определенную закономерность изменения [4]. Наиболее высоким содержанием гигроскопической влаги характеризуются угли низкой степени метаморфизма – длиннопламенные и газовые, затем оно снижается до тощих углей, а в антрацитах вновь возрастает (см. таблицу).

Из петрографических макрокомпонентов угля наименьшей гигроскопической влагой обладает фюзен, а витрен, напротив, имеет высокое содержание гигроскопической влаги.

В процессе сушки угля до влажности, соответствующей гигроскопической, происходит испарение поверхностной и капиллярной влаги. При снижении влажности материала ниже гигроскопической уменьшение влаги сопровождается ростом удельной теплоты испарения влаги, что свидетельствует об изменении физического состояния системы. При испарении связанной влаги энергия расходуется не

только на фазовое превращение воды, но и на разрушение водородных связей с материалом.

При заключении контрактов как на продажу готовой угольной продукции, так и на проектирование процессов переработки угля влажность угля (как правило, общая) присутствует в договорах как гарантийный показатель, от которого зависят проектные параметры процессов, выбор вида и режимов работы оборудования. При проектировании процессов обогащения важно еще до начала проектирования получить точные характеристики рядового угля, оценить значения общей и внутренней влаги продуктов обогащения. От того, как точно будет измерена влажность угля в пробах, будет зависеть, попадет ли продавец угля, проектировщик и поставщик оборудования в гарантийные рамки по влаге продукции. При превышении гарантийного значения по влаге производитель будет вынужден платить штрафы и понесет убытки при реализации продукции. При заключении контрактов в договорной документации следует акцентировать внимание на том, в соответствии с каким ГОСТом и, возможно, даже в какой лаборатории будут проводиться арбитражные измерения влажности рядового угля и готовой продукции. Все ГОСТы предельно четко обращают наше внимание на то, что поскольку в разных лабораториях условия окружающей среды разные (давление, влажность), максимально допустимое расхождение между результатами определения внешней влаги, влаги воздушно-сухого топлива не может быть установлено. Максимально допускаемые расхождения между результатами определения влаги регламентируются только для проб-дубликатов, приготовленных одновременно одним исполнителем из одной и той же пробы и в одной лаборатории.

Влагу твердого минерального топлива на сегодняшний день рекомендуется определять следующими методами:

- одно- и двухступенчатый метод определения влаги по потере массы. Этот метод регулируется недавно введенным с 01.01.2015 национальным государственным стандартом ГОСТ Р 52911-2013 «Топливо твердое минеральное. Методы определения общей влаги» [5];

- одно- и двухступенчатый метод определения влаги ускоренным высушиванием. Этот метод регулируется межгосударственным стандартом ГОСТ 11014-2001 «Угли бурые, каменные, антрацит и горючие сланцы. Ускоренные методы определения влаги» [6];

- измерение влаги с помощью лабораторных гравиметрических влагомеров с инфракрасным (или галогеновым, в зависимости от моделей) типом сушки. Этот метод пока не регламентирован стандартом, но широко используется на горно-обоганительных предприятиях ввиду меньших временных затрат и простоты применения. В настоящее время ведутся работы по разработке стандарта «Угли бурые, каменные и антрацит. Инфракрасный термogrавиметрический метод определения общей влаги» [7].

Сразу следует сказать, что национальный ГОСТ Р 52911-2013 действует только на территории Российской Федерации, а ГОСТ 11014-2001 по ускоренному методу измерения влаги – межгосударственный, т.е. может быть упомянут в контрактах между разными государствами, упомянутыми

**Закономерность изменения гигроскопической влаги в генетическом ряду каменных углей**

Марка угля	Д	Г	Ж	К	ОС	Т	А
$W^{гн}, \%$	10	7	5	3,5	2	1	2,4

в списке, приведенном в тексте ГОСТа. Из международных стандартов, регламентирующих процедуру измерения влаги, наиболее близкими к нашим ГОСТам являются стандарты ISO 589:2008 «Hard coal – Determination of total moisture» и ISO 5068 «Brown coals and lignites – Determination of moisture content – Part 1: Indirect gravimetric method for total moisture».

Выбор измерения влаги по одно- или двухступенчатому методу определяется исходным содержанием влаги в угле и наличием возможности его измельчения в проборазделочной машине без предварительной подсушки (механическая проборазделка). Принципиальные отличия методик определения общей влаги заключается в скорости высушивания пробы (температуре и времени высушивания) и предельно допустимом для конкретной методики размере зерен пробы угля.

По ГОСТ Р 52911-2013 общая влага определяется в среднем в течение 1,5-2 суток. Если проба угля уже раздроблена в проборазделочной машине до 10-11,2 мм (не более 13 мм), то, сократив ее до 2,5 кг, можно измерить общую влагу одноступенчатым методом – высушивая в атмосфере азота или в токе воздуха при температуре 105-110°C до условно постоянной массы, то есть до тех пор, пока потеря массы за последний период высушивания не превысит 0,2% от общей массы. Если проба представляет собой крупный влажный уголь, то общую влагу определяют двухступенчатым методом – сначала исходную пробу просушивают на воздухе или в шкафу при температуре до 40°C, до условно постоянной массы, и определяют внешнюю влагу. Затем эта проба измельчается до 2,8 (3) мм и массой не менее 0,65 кг досушивается в шкафу в атмосфере азота или в потоке воздуха при температуре 105-110°C до постоянной массы и определяется влага воздушно-сухого топлива. Общая влага рассчитывается как сумма внешней влаги и влаги воздушно-сухого топлива с точностью (округлением) до 0,1%.

По ускоренному методу, изложенному в ГОСТ 11014-2001, на первой ступени (на этапе измерения внешней влаги) масса пробы должна быть не менее 0,5 кг и крупностью не более 20 мм. Время сушки в шкафу ограничено восемью часами, сушка проводится до тех пор, пока результаты двух последних взвешиваний будут отличаться не более чем на 0,3% исходной массы пробы для бурых углей и не более чем на 0,1% исходной массы пробы для каменных углей, антрацитов и горючих сланцев. На второй ступени (этапе определения влаги воздушно-сухого топлива) пробы массой 10 г крупностью не более 3 мм отбирают в бюксы и помещают в сушильный шкаф, предварительно нагретый до температуры 160±5°C, и при этой температуре сушат бурые угли не менее 30 мин; каменные угли, горючие сланцы и продукты их мокрого обогащения – 15 мин; антрацит – 20 мин. После этого пробу охлаждают и взвешивают. Общую влагу определяют как сумму внешней влаги и влаги воздушно-сухого топлива с точностью до 0,1%. Одноступенчатый метод измерения общей влаги тоже предусмотрен, он полностью повторяет методику, описанную для второй ступени.

Кроме того, в ГОСТ 11014-2001 изложена методика определения влаги аналитической пробы. Сущность метода заключается в высушивании навески аналитической пробы топлива максимальным размером зерен 0,2 мм в сушильном шкафу при температуре 160±5°C и вычислении массовой доли влаги по потере массы. Из аналитической пробы топлива отбирают навески топлива массой 1±0,1 г

с точностью не более 0,0002 г и помещают в сушильный шкаф, предварительно нагретый до температуры 160±5°C. Бюксы с навесками сушат не менее: 5 мин – каменные угли, антрацит и горючие сланцы; 10 мин – бурые угли. Затем бюксы охлаждают, после чего взвешивают.

В связи с вышеизложенным рекомендуем проектировщикам и поставщикам угля следующее.

Во-первых, определиться, по какому ГОСТу и в какой лаборатории будут проводиться арбитражные испытания в рамках конкретного контракта. При этом в тексте стандарта по ускоренному методу измерения общей влаги указано, что при возникновении разногласий в оценке качества топлива определение влаги проводят по ГОСТ 27314. Этот ГОСТ уже отменен, взамен него введен ныне действующий ГОСТ Р 52911-2013, следовательно, по крайней мере на территории Российской Федерации, этот ГОСТ является арбитражным.

Во-вторых, необходимо заранее оговорить погрешность измерений требуемого показателя. Если в одной лаборатории общую влагу определяют по ускоренному методу, раздробив пробу до крупности 3 мм и просушив в шкафу при 160°C в течение 15 мин, а в другой лаборатории общую влагу измеряют по двухступенчатому методу с высушиванием на второй ступени при температуре 105°C, то, скорее всего, полученные результаты будут отличаться. Это особенно актуально для каменных углей низкой стадии метаморфизма (марок Д и Г).

В-третьих, при определении внутренней влаги угля крупность пробы является определяющим фактором, что отражается на методиках определения влаги. Это важно знать при разработке технологии обогащения углей, особенно таких марок каменных углей, как длиннопламенные и газовые, характеризующиеся высокой внутренней влагой. Для этих углей требуемая при продажах на экспорт низшая теплотворная способность концентратов ~6000 ккал/кг может быть недостижимой без термической сушки угля. В случае необходимости применения в схеме обогатительной фабрики сушки угля следует рассматривать вопрос крупности материала, подвергаемого сушке. Для углей марок Д и Г сушка угля крупностью более 1(2) мм, возможно, будет не рациональной, так как удаление внутренней влаги из более крупного угля потребует дополнительного времени пребывания угля в сушильном агрегате и более высокого температурного режима. В этом случае удаление внутренней влаги может привести к перегреву продукта, что в условиях высокого содержания летучих веществ в этих марках угля создаст опасность взрыва сушильной установки.

Изложенные рекомендации по учету методов измерения влаги в углях должны помочь продавцам и покупателям угля избежать спорных вопросов на стадии заключения контрактов.

### **Список литературы**

1. ГОСТ 17070-2014 Угли. Термины и определения.
2. Стандартные методы испытания углей. Классификации углей / И.В. Августевич, Т.М. Броновец, Г.С. Головин и др. М.: НТК «Терек», 2008. 364 с.
3. ГОСТ 8719-90 Угли бурые, каменные и антрацит. Метод определения гигроскопической влаги.
4. Глушенко И.М. Теоретические основы технологии горючих ископаемых. Учебник для вузов. М.: Металлургия, 1990. 296 с.

5. ГОСТ Р 52911-2013 Топливо твердое минеральное. Методы определения общей влаги.

6. ГОСТ 11014-2001 Угли бурые, каменные, антрацит и горючие сланцы. Ускоренные методы определения влаги.

7. Перспективы применения инфракрасных термогравиметрических влагомеров для определения общей влаги твердого минерального топлива / О.С. Голынец, А.С. Сергеева, Н.А. Никонова, С.А. Эпштейн // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2015. № 3. С. 18-129.

UDC 622.33:622.7:543.812 © E.N. Chernysheva, 2016  
ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2016, № 8, pp. 125-128

**Title**  
**COAL MOISTURE CONTENT AS PRODUCT QUALITY INDICATOR**

**DOI:** <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2016-8-125-128>

**Author**  
Chernysheva E.N.<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>“Coralina Engineering”, LLC, Moscow, 105005, Russian Federation

**Author's Information**  
**Chernysheva E.N.**, Process Engineer, e-mail: [enc@coralina.ru](mailto:enc@coralina.ru)

**Abstract**  
Current understanding of coal moisture types are reviewed. Valid Russian standards for coal moisture level determination are referenced.

**Keywords**  
Coal moisture level, External moisture, Fuel air-dried condition, Adsorption water, Capillary water, Gravitative water.

**References**  
1. *GOST 17070-2014 Ugli. Terminy i opredeleniya* [GOST 17070-2014 Coals. Terms and definitions].  
2. Avgushevich I.V., Bronovets T.M., Geolovin G.S., et al. *Standartnye metody ispytaniya uglej. Klassifikacii uglej* [Standards methods of coal testing. Coal classification]. Moscow, NTK “Terek” Publ., 2008, 364 pp.

3. *GOST 8719-90 Ugli burye, kamennye i antracit. Metod opredeleniya gigroskopicheskoy vlagi* [GOST 8719-90 Brown coals, hard coals and anthracite. Method for determination of hygroscopic moisture].  
4. Glushenko I.M. *Teoreticheskie osnovy tekhnologii goryuchih iskopaemykh* [Fossil fuels technology theoretical basis]. College textbook. Moscow, Metallurgiya Publ., 1990, 296 pp.  
5. *GOST R 52911-2013 Topливо tverdoe mineral'noe. Metody opredeleniya obshchej vlagi* [GOST R 52911-2013 Solid mineral fuel. Method of total moisture determination].  
6. *GOST 11014-2001 Ugli burye, kamennye, antracit i goryuchie slancy. Uskorennye metody opredeleniya vlagi* [GOST 11014-2001 Brown, hard coals, anthracite and combustible shales. Accelerated methods of moisture determination].  
7. Golynets O.S., Sergeyev A.S., Nikonova N.A. & Epstein S.A. *Perspektivy primeneniya infrakrasnykh termogravimetriceskikh vlagomerov dlya opredeleniya obshchej vlagi tverdogo mineral'nogo topliva* [Prospects of infrared thermogravimetric moisture analyzers application for solid mineral fuel total moisture content determination]. *Gornyy informacionno-analiticheskiy byulleten - Mining Information-Analytical Bulletin*, 2015, no. 3, pp. 118-129.



**miningworld**  
CENTRAL ASIA



22-я Центрально-Азиатская Международная Выставка  
ГОРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ, ДОБЫЧА И ОБОГАЩЕНИЕ РУД И МИНЕРАЛОВ



**14-16 Сентября 2016**

КЦДС “Атакент” • Алматы • Казахстан

Организаторы:



За дополнительной информацией,  
пожалуйста, обращайтесь в Itessa (Алматы)  
Тел./Факс: +7 727 258 34 34  
Email: [mining@itessa.kz](mailto:mining@itessa.kz)

[www.miningworld.kz](http://www.miningworld.kz)



**ВАШ ШЕЛКОВЫЙ ПУТЬ**  
к горной индустрии Центральной Азии