

**К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КЛАССИФИКАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ УГЛЕЙ ДЛЯ
УСТАНОВЛЕНИЯ ОПАСНЫХ СВОЙСТВ ШАХТОПЛАСТОВ**¹**Антощенко Н.И., ¹Тарасов В.Ю., ¹Заика Р.Г., ¹Золотарева Е. В., ¹Захарова О.И.**¹*Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля***ЩОДО ВИЗНАЧЕННЯ КЛАСИФІКАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ ВУГІЛЛЯ ДЛЯ
ВСТАНОВЛЕННЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ШАХТОПЛАСТІВ**¹**Антощенко М.І., ¹Тарасов В.Ю., ¹Заїка Р.Г., ¹Золотарьова О. В., ¹Захарова О.І.**¹*Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля***ON DETERMINING COAL CLASSIFICATION INDICATORS FOR ESTABLISHING
DANGEROUS PROPERTIES OF MINES**¹**Antoshchenko M., ¹Tarasov V., ¹Zaika R., ¹Zolotarova O., ¹Zakharova O..**¹*Volodymyr Dahl East Ukrainian National University*

Аннотация. В настоящее время известно более 20 квалификационных показателей для установления степени метаморфических преобразований углей. В большей части они разработаны для установления технологических свойств с целью промышленного использования углей. Благодаря достаточной изученности применяемых показателей промышленные классификации постоянно совершенствуются. В современной классификации по генетическим и технологическим параметрам угли группируются на марки с применением десяти показателей. Из них только один – массовый выход летучих веществ при термическом разложении углей используется, без должного научного обоснования, в качестве основного показателя проявления опасных свойств шахтопластов при ведении горных работ. К опасным свойствам шахтопластов при ведении горных работ относятся газоносность угля, склонность к газодинамическим явлениям и самовозгораемости, пылеобразующая способность и взрывчатость угольной пыли. В промышленных классификациях основным показателем определяется на сухое беззольное состояние органической массы. Проявление же опасных свойств шахтопластов происходит при наличии в них как влаги, так и минеральных примесей. Этот факт не учитывается и другими вспомогательными показателями, применяемыми для прогноза опасных свойств шахтопластов. Влага в угольных пластах находится, как минимум, в четырех состояниях. Она полностью удаляется при анализе проб и не учитывается в летучих продуктах термического разложения углей. По этой причине, используя показатель массового выхода летучих веществ, автоматически игнорируется влияние влаги любой ее формы нахождения в угле на возникновение аварийных ситуаций. Вероятность возникновения аварийных ситуаций в горных выработках в значительной степени определяется соотношением между компонентами органической массы (С, О, Н, S, N) и минеральными примесями. Это также не учитывается нормативной базой, регламентирующей безопасную отработку угольных пластов. Классификационные показатели, определенные разными способами, характеризуют разные стороны преобразования углей при метаморфических процессах. Хорошо изученные в условиях промышленного применения выход летучих веществ и средний показатель отражения витринита соответствуют разным аспектам степени преобразования исходного органического вещества. Для установления опасных свойств шахтопластов недопустима их взаимная подмена, что подтверждается нелинейной связью между ними. Установлено существование генетической связи между выбросо- и пожароопасностью шахтопластов. Это свидетельствует о необходимости разработки единой классификации опасных свойств шахтопластов по генетическим, горно-геологическим и горнотехническим параметрам. Научно-обоснованное применение в нормативных документах комплекса классификационных показателей, непосредственно характеризующих проявления опасных свойств шахтопластов, будет способствовать снижению аварийности и травматизма в угольных шахтах.

Ключевые слова: шахтопласты, свойства, газоносность, выбросоопасность, самовозгораемость, пылеобразование, взрывчатость, влага, метаморфизм, нормативные документы, усовершенствование.

Постановка проблемы. К опасным свойствам шахтопластов при ведении горных работ относятся газоносность угля, склонность к газодинамическим яв-

лениям и самовозгораемости, пылеобразующая способность и взрывчатость угольной пыли. Эти свойства углей появляются на определенных стадиях геологических процессов, которые обусловили преобразование исходного органического вещества. В общем случае в процессе углеобразования происходили изменения в структуре, минеральном и химическом составах этого материала. Содержание углерода в процессе указанных преобразований под воздействием температуры и давления постепенно увеличивалось, а остальных компонентов минеральной и органической (кислород, водород, сера, азот) составляющих – уменьшалось. Последовательный ряд таких преобразований можно представить следующей цепочкой [1]: растительные остатки – торф – бурый уголь – каменный уголь – антрацит – графит.

Достаточно всесторонне изучены свойства и элементный состав каменных углей и антрацитов с целью их использования. Для этих целей были разработаны промышленные классификации по генетическим и технологическим параметрам [2-5]. Они на протяжении последних нескольких десятилетий постоянно совершенствовались. Для более детальной градации углей по технологическим свойствам привлекались вспомогательные классификационные показатели. В настоящее время их известно более двадцати.

При такой, достаточно полной изученности показателей степени преобразования углей при геологических процессах (метаморфизме), для характеристики опасных свойств шахтопластов применяется, по сути, один классификационный показатель – массовый выход летучих веществ при термическом разложении углей без доступа воздуха (V^{daf}). В нормативных документах [6-9] дополнительно к нему, в качестве вспомогательных, используются, в разном сочетании, марки углей, объемный выход летучих веществ (V_v^{daf}), логарифм удельного электросопротивления антрацитов ($lg\rho$) и толщина пластического слоя (γ). Применяемые классификационные показатели согласно методикам своего определения природе лишь косвенно могут характеризовать опасные свойства шахтопластов. Они непосредственно не отражают изменения в составе и физико-механических свойствах углей.

Сложилась ситуация, когда при достаточно полной изученности показателей изменения характеристик углей и значительного опыта промышленного использования, для установления всего разнообразия опасных свойств шахтопластов применяется [6-9] ограниченное количество классификационных показателей. Это свидетельствует о необходимости совершенствования нормативной базы по безопасной отработке угольных шахтопластов. Актуальность работ такого направления подтверждается регулярно происходящими авариями, вызванными проявлением опасных свойств шахтопластов. Взрывы газовоздушных смесей и пыли в горных выработках, внезапные выбросы угля и газа, эндогенные пожары приводят к катастрофическим последствиям, в том числе и гибели людей.

Цель. Установить комплекс классификационных показателей метаморфических преобразований углей, которые реально могут характеризовать опасные свойства шахтопластов при ведении горных работ.

Методика. Предусматривает анализ энергетических и технологических свойств углей, установленных с помощью показателей промышленных классификаций и целесообразность применения этих показателей для выявления опасных свойств шахтопластов. Рассмотрение дополнительных показателей, которые непосредственно характеризуют проявление опасных свойств шахтопластов и могут использоваться для совершенствования нормативной базы.

Изложение основного материала. Основной целью промышленных классификаций [2-5] являлось и является установление теплотворных способностей энергетических углей и склонность каменных углей к коксуемости. Коксуемость углей характеризуется их спекаемостью. Она имеет большое значение для оценки свойств как энергетических, так и технологических углей. Низкая спекаемость характерна для энергетических углей.

Высшая теплота сгорания устанавливается на влажное беззольное состояние (Q_s^{daf}), а спекаемость определяется толщиной пластического слоя (y) и показателем свободного вспучивания (SI). Эти показатели согласно методик определения их параметров не могут характеризовать опасные свойства шахтопластов, так как по их значениям нельзя непосредственно оценить состав и свойства углей. К аналогичным классификационным показателям [5] можно отнести средний показатель отражение витринита (R_o), выход летучих веществ (V^{daf}), сумму фюзенизированных компонентов ($\sum OK$), выход смолы полукоксования (T_{SK}^{daf}), объемный выход летучих веществ (V_v^{daf}) и показатель анизотропии отражения витринита (A_R). Исключением из этого списка является максимальная влагоемкость на беззольное состояние (W_{max}^{daf}). Применение этого показателя ограничивается только делением бурых углей на типы [5]. Содержание влаги для оценки степени метаморфизма каменных углей и антрацитов в большинстве промышленных классификаций не используется. Наряду с этим пластовая влажность связана со степенью метаморфизма угля и оказывает влияние на его прочностные характеристики и пылеобразующую способность [10]. Естественная влажность угля и его микро- и макроструктура на основе комплексной информации позволяют дифференцировать пласты на опасные и неопасные. Сорбционная метаноёмкость углей прямопропорционально зависит от гигроскопической влажности [11]. Зависимость рабочей влаги углей установлена от содержания углерода (рис. 1.) в органической (горючей) массе [12] на основании обработки экспериментальных данных [13-15]. При достижении определенного уровня содержания углерода (около 90%) наблюдается незакономерный для метаморфизма каменных углей и антрацитов рост содержания влаги. Аналогичное изменение влаги установлена от выхода летучих веществ [10]. Это явление объясняется изменением внутренней структуры угольного вещества.

Выделяют [16] следующие виды влаги, содержащейся в угольном веществе:

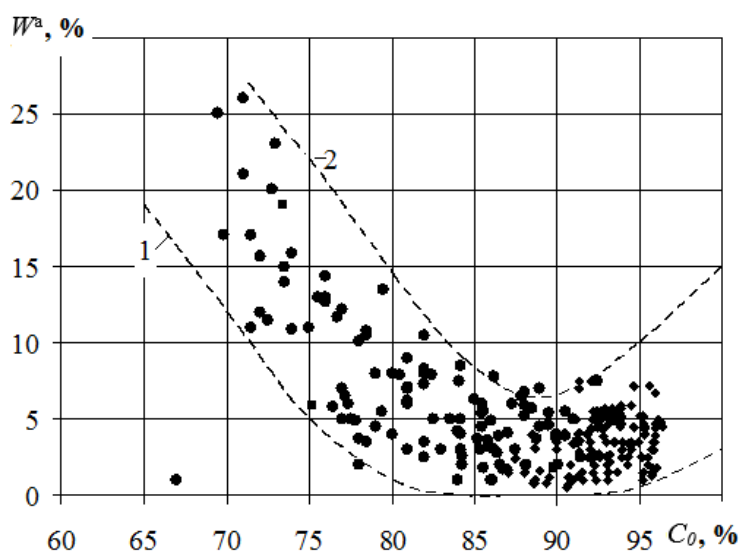
- а) механически удерживаемая жидкая вода; при наличии в угле трещин и микропор они могут быть заполнены целиком или частично жидкой водой;
- б) сорбционно-связанная вода, находящаяся в основном объеме молекулярных пор, но её существование возможно в виде моно- или полимолекулярного слоя на поверхности переходных и макропор;

в) химически связанная вода, которая может быть, как ионносвязанной (например, в виде гидроксильных ионов), так и молекулярносвязанной с минеральной частью угля;

г) химически связанная вода находится не в объеме пустот угля, а входит в состав угольного вещества.

В процессе метаморфизма углей под воздействием повышенных температур и давления пород происходило удаление различных видов влаги. Виды влаги удаляются в порядке возрастания энергии связи в системе уголь – вода. Наиболее легко удаляется механически удерживаемая вода, а труднее всего удалить химически связанную. Выделить четкие температурные границы, при которых удаляется только влага одного какого-либо типа связи затруднительно [16].

Незакономерное увеличение влаги наблюдается при переходе от каменных углей к антрацитам, это соответствует содержанию углерода около 90% (рис. 1). Образование антрацитов невозможно при температуре менее 500°C [17]. С другой стороны, такая температура соответствует условиям удаления пирогенетической и гидратной влаги [18], т.е. в данном случае происходит структурная перестройка угольного вещества, что и вызывает выделение некоторого количества химически связанной воды.



1, 2 – границы изменения рассматриваемых параметров; экспериментальные данные [13-15]

Рисунок 1 - Зависимость рабочей влаги углей (W^a) от содержания углерода (C_0) в органической (горючей) массе

Многими учеными рассматривается искусственное увлажнение угольных пластов как метод комплексной борьбы с газовыделением, газодинамическими явлениями, эндогенными пожарами, угольной пылью и т.д.. Успешно решить эти проблемы можно только при наличии знаний об условиях накопления и удаления всех видов влаги в каменных углях и антрацитах в процессе их метаморфических преобразований.

Проведенный анализ форм нахождения влаги в каменных углях и антрацитах свидетельствует о необходимости применения этого показателя для установления опасных свойств шахтопластов. Ранее его вместе с величиной выхода

кокса применяли для установления степени метаморфизма углей. Содержание влаги в углях убывает по мере повышения степени метаморфизма, но при переходе к антрацитам оно снова возрастает. Перелом кривой может рассматриваться как начало антрацитовой стадии метаморфизма угля [19]. Это ещё раз подтверждает выводы [10, 12] о не случайности увеличения содержания влаги в антрацитах.

Причиной проявления опасных свойств шахтопластов при ведении горных работ, в общем случае, могут быть следующие факторы:

а) соотношение между основными компонентами органической части (углерод, кислород, водород, сера, азот) и минеральными примесями (в том числе серы во всех видах);

б) внутренняя структура определяет свойства углей при одинаковом элементном их составе;

в) для проявления опасных свойств шахтопластов при ведении горных работ необходимо некоторое сочетание элементного состава и структуры углей с горно-геологическими и горнотехническими условиями их отработки.

При разработке классификаций углей промышленного использования углей не ставилась цель изучения факторов, определяющих опасные свойства шахтопластов. В большей части изучались классификационные показатели, характеризующие сухую беззольную массу органического вещества в пробах угля. Они всесторонне характеризуют угли как исходный материал для получения энергии или кокса. По этой причине некоторые из этих показателей не могут использоваться для характеристики опасных свойств шахтопластов, так как они проявляются при некотором соотношении химического состава и внутренней структуры углей. Такое сочетание определяется составом углей и прочностными физико-механическими параметрами. Для установления опасных свойств шахтопластов, например, можно использовать содержание углерода и влаги как показатели степени метаморфического преобразования углей, а содержание кислорода, водорода и серы – как компоненты, сопутствующие проявлению опасных явлений. При этом нельзя игнорировать, достаточно полно изученные классификационные параметры степени метаморфизма углей, такие как выход летучих веществ, средний показатель отражения витринита (R_o) и некоторые другие. Они в разных аспектах характеризуют степень преобразования исходного материала органического вещества. Несмотря на высокий коэффициент корреляции ($r = -0,883$) между V^{daf} и R_o [20], фактическая зависимость не является строго обратно пропорциональной. Она носит нелинейный характер (рис. 2) и может быть описана экспоненциальной зависимостью [21]. Приведенный факт, свидетельствует о том, что для выявления опасных свойств шахтопластов, при отсутствии близкой к функциональной прямо- или обратно пропорциональной связи между классификационными параметрами, недопустима их взаимная подмена. В этом случае могут допускаться значительные ошибки в оценке свойств углей согласно разным классификационным показателям.

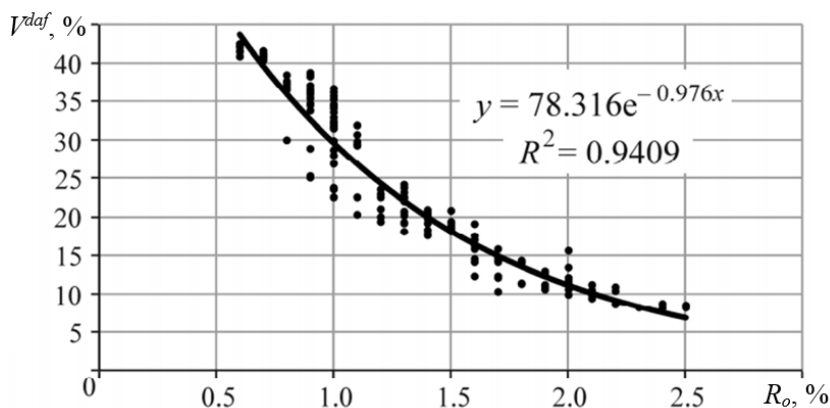
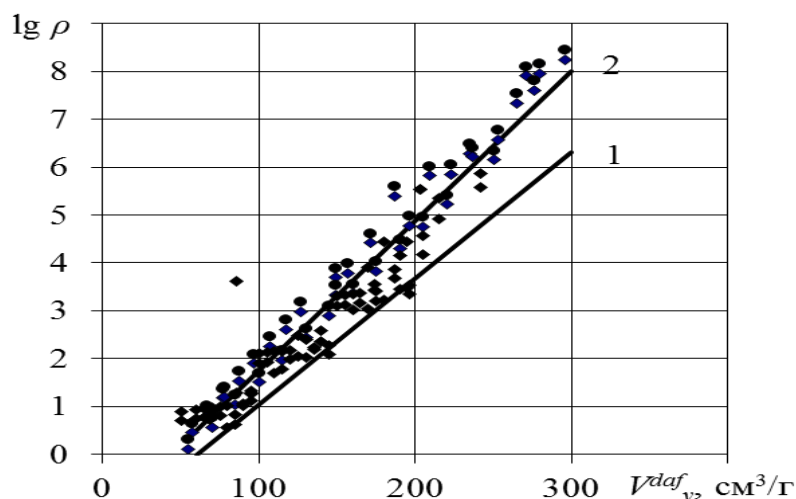


Рисунок 2 - Связь показателя (R_o) отражения витринита углей (стадии метаморфизма) с выходом летучих веществ (V_v^{daf}) [21]

Разные методики определения классификационных показателей отражают и разные свойства углей, приобретенные в процессе метаморфизма. Логарифм удельного электросопротивления антрацитов ($\lg \rho$) и объемный выход летучих веществ (V_v^{daf}) характеризуют разные стороны преобразования одного исходного органического материала. Показатель $\lg \rho$ непосредственно отражает электрические свойства антрацитов, а V_v^{daf} – объемный выход летучих веществ при термическом разложении образца без доступа воздуха. Оба показателя служат для оценки степени метаморфизма антрацитов, но они взаимно незаменимы. Статистическая обработка [12] экспериментальных данных [14, 15, 22] показывает высокую корреляционную связь ($r = 0.91$) между ними (рис. 3).



1,2 – осредняющие прямые, соответственно рекомендованная [7] и полученная [12] при статистической обработке данных [14, 15, 22], • – экспериментальные данные

Рисунок 3 – График взаимосвязи между удельным электросопротивлением антрацитов ($\lg \rho$) и объемный выход летучих веществ (V_v^{daf})

Замена одного показателя другим в этом случае нежелательна, так как максимальное отклонение индивидуальных значений экспериментальных данных от осредняющей прямой достигает более 200%.

Приведенные примеры свидетельствуют о необходимости более детального изучения корреляционных связей между классификационными показателями с целью обоснования возможности их взаимозаменяемости. В связи с отсутствием функциональных зависимостей для характеристики проявлений опасных свойств шахтопластов желательно использовать показатели, которые по методике определения максимально соответствуют состоянию шахтопластов в природных условиях.

Такой подход к выбору классификационных показателей был сделан для оценки пылеобразующей способности шахтопластов [10] при разработке руководства [8]. Степень метаморфизма углей для этого случая определялась влажностью и прочностными свойствами угля.

Системный подход к выбору и обоснованию классификационных показателей состояния шахтопластов при ведении горных работ полностью проигнорирован при разработке других нормативных документов [6, 7, 9], что несомненно отразилось на их качестве прогноза опасных свойств.

Результаты последних исследований [21, 23] позволяют сделать заключение о существовании генетической связи между выбросо- и пожароопасностью шахтопластов, определяемых геомеханико-геодинамическими и термохимическими условиями формирования угольных месторождений в минувшие тектономагматические эпохи истории развития Земли. Это свидетельствует о возможности разработки единой классификации опасных свойств шахтопластов по генетическим, горно-геологическим и горнотехническим параметрам. При ее разработке необходимо учитывать фазовое состояние влаги и метана в газоносных угольных пластах. Значительная их часть заключена в составе твердого раствора с углем, другая связана с ним силами сорбции, а небольшое количество представлено свободным состоянием [21].

Проведенные исследования позволяют сделать выводы по целевому применению классификационных показателей степени метаморфизма углей для достоверного установления опасных свойств шахтопластов и усовершенствования нормативной базы в этой части:

- а) в настоящее время известно более двадцати квалификационных показателей для установления степени метаморфизма углей;
- б) промышленными классификациями по генетическим и технологическим параметрам применяется до десяти показателей;
- в) для характеристики проявления опасных свойств шахтопластов (газоносность, склонность к газодинамическим явлениям и самовозгораемости, пылеобразующая способность и взрывчатость угольной пыли) в нормативной базе Украины используется всего четыре классификационных показателя (выход летучих веществ при термическом разложении углей без доступа воздуха, логарифм удельного электросопротивления антрацитов, объемный выход летучих веществ и толщина пластического слоя). Каждый из этих показателей предназначен для установления степени геологических преобразований углей только в отдельных интервалах всего ряда метаморфизма;

г) из всех показателей, применяемых современной промышленной классификацией, только содержание влаги непосредственно может характеризовать опасные свойства шахтопластов. Этот показатель оказывает влияние на прочностные характеристики и пылеобразующую способность угля. Сорбционная метаноемкость прямопропорционально зависит от гигроскопической влаги. Минимум пластовой влаги и ее увеличение определяет начало антрацитовый стадии преобразования углей;

д) для установления возможных опасных свойств шахтопластов необходимо знать некоторое сочетание элементного состава и структуры углей с горно-геологическими и горнотехническими условиями их отработки. Классификационные показатели – среднее отражение витринита, содержание углерода, влагонасыщенность, выход летучих веществ и некоторые другие могут служить для оценки степени метаморфизма углей. Компоненты органической (кислород, водород, сера) и минеральной (сера) частей способствуют проявлению опасных свойств;

е) классификационные показатели, определенные разными способами, характеризуют разные аспекты преобразования углей при метаморфических процессах;

ж) последние исследования позволяют сделать заключение о существовании генетической связи между выбросо- и пожароопасностью шахтопластов. Это свидетельствует о возможности разработки единой классификации опасных свойств шахтопластов по генетическим, горно-геологическим и горнотехническим параметрам;

и) в современных нормативных документах отсутствует научно-обоснованный комплекс классификационных показателей, непосредственно характеризующий опасные свойства угольных пластов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рябинкин С. В. О некоторых параметрах классификации углей // VII Всероссийское литологическое совещание «Осадочные бассейны, седиментационные и постседиментационные процессы в геологической истории». Рос. акад. наук, Науч. совет по проблемам литологии и осадочных полезных ископаемых при ОНЗ; Сиб. отд-ние, Ин-т нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука., Новосибирск, 2013. Т. 3. С. 35-39.
2. Коткин А.М., Кипнис Ш.Ш., Лашенко В.И. [и др.]. Новая классификация Донецких углей // Уголь Украины. 1977. № 7 С. 42-43
3. Очкур Н.П., Козырская В.Ф. Показатель свободного вспучивания для оценки спекаемости и марочного состава Донецких углей // Уголь Украины. 1992. № 2. С. 60-64
4. Жикаляк Н. В., Писковой М. А, Очкур Н. П. О классификации углей и оценке их использования по данным геологоразведочных работ // Уголь Украины. 2003. № 7. С. 34—36.
5. ГОСТ 25543-2013. Межгосударственный стандарт. Угли бурые, каменные и антрациты. Классификация по генетическим и технологическим параметрам. Издание официальное. М.: Стандарт-информ. 2014. 19с
6. СОУ 10.1.00174088.011:2005. Правила ведення гірничих робіт на пластах, схильних до газодинамічних явищ – [Чинний від 2005-12-01] / О.М. Брюханов, О.В. Агафонов, А.В. Анциферов [та ін.]. Офіц. вид. К.: Мінвуглепром України, 2005. – 224 с. (Нормативний документ Мінвуглепрому України. Стандарт).
7. ДНАОТ 1.1.30-6.09.93 Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт. [Дійсн. від 20.12.1993 р.]. Офіційне видання. Київ, 1994. 312 с. (Нормативний документ Мінвуглепрому України. Державний нормативний акт з охорони праці)
8. Руководство по борьбе с пылью в угольных шахтах. М.: Недра. 1979. 319с.
9. КД 12.01.401-96 Эндогенные пожары на угольных шахтах Донбасса. Предупреждение и тушение. Инструкция. Издание официальное / П.С. Пашковский, В.К. Костенко, В.П. Заславский, А.Т. Хорольский, А.Г. Заболотный и др. Донецк: НИИГД, 1997. 68 с.
10. Медведев Э.Н., Саранчук В.И., Качан В.Н. Оценка пылеобразующей способности углей в ряду метаморфизма //

Уголь Украины. 1984. № 9. С. 32-33.

11. Акиншин Б.Т. Метаморфизм и взаимосвязь микро- и макропористой структуры, влажности угля с газоносностью пластов лаве // Уголь Украины. 1985. С. 37-39

12. Антощенко Н.И., Шепелевич В.Д. Метан в угольных пластах от образования до выделения. Алчевск: ДонГТУ, 2006. 267с.

13. Миронов К.В. Справочник геолога-угольщика. М.: Недра. 1982. 311с.

14. Желдаков М.Е., Иванова Э.И. Справочник по качеству антрацитов Советского Союза. М.: Недра. 1980. 99с.

15. Геолого-углехимическая карта Донецкого бассейна. Выпуск VIII. Обоснование построения геолого-углехимической карты Донецкого бассейна. М.: Углетехиздат. 1954. 429 с

16. Эттингер И. Л., Шульман Н. В. Распределение метана в порых ископаемых углей. М.: Наука, 1975. 112с.

17. Гапеев А. А. Твердые горючие ископаемые (каустобиолиты) М.: Государственное издательство геологической литературы, 1949. 335с.

18. Менковский М. А. Аналитическая химия и технический анализ углей. М.: Недра, 1973. 368с.

19. Успенский В. А. Опыт материального баланса процессов, происходящих при метаморфизме угольных пластов // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2006. Т. 1. С. 12.

20. Данилов О. С., Михеев В. А., Москаленко Т. В. Взаимосвязь генетических и технологических параметров углей, принятых в классификации, со структурными параметрами их органической массы // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2011. №. 8. С. 100 -104.

21. Опарин В. Н. и др. О некоторых особенностях взаимодействия между геомеханическими и физико-химическими процессами в угольных пластах Кузбасса // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2014. №. 2. С. 3-30.

<https://doi.org/10.1134/S106273911402001X>

22. Вялов В. и др. Качества и свойства антрацитов основных угольных бассейнов и месторождений СНГ и их рациональное использование // Обзорная информация. Геология, методы поисков, разведки и оценки месторождений топливно-энергетического сырья. 1994. №. 6. С. 1-74.

23. Ганова С. Д., Скопинцева О. В., Исаев О. Н. К вопросу исследования состава углеводородных газов угольных пластов и пыли с целью возможного прогнозирования их потенциальной опасности // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2019. Т. 330. №. 6.

REFERENCES

1. Rjabinkin S. V. (2013), "Some parameters of the classification of coals", VII All-Russian lithological meeting "Sedimentary basins, sedimentation and post-sedimentation processes in geological history". Grew up. acad. Sciences, Sci. council on problems of lithology and sedimentary minerals at the ONZ; Sib. department, Institute of Oil and Gas Geology and Geophysics named after AA Trofimuka., Novosibirsk, RU, no. 3, pp. 35-39.

2. Kotkin A.M., Kipnis Sh.Sh., Lashhenko V.I. [and others] (1977), "New classification of Donetsk coals", *Coal of Ukraine*, no. 7, pp. 42-43.

3. Ochkur N.P. and Kozyrskaja V.F (1992), "Free swelling index for assessing sintering capacity and grade composition of Donetsk coals", *Coal of Ukraine*, no. 2, pp. 60-64.

4. Zhikalkaj N. V., Piskovoj M. A. and Ochkur N. P. (2003), "On the classification of coals and the assessment of their use according to the data of geological exploration", *Coal of Ukraine*, no 7, pp. 34—36.

5. Interstate council for standardization, metrology and certification (2014), GOST 25543-2013. *Ugli burye, kamennye i antracit. Klassifikacija po geneticheskim i tehnologicheskim parametram Izdaniye ofitsial'noye* [GOST 25543-2013. Brown coals, hard coals and anthracites. Classification according to genetic and technological parameters. Official publication], Standartinform, Moscow, Russia.

6. Ukraine Ministry of Coal Industry (2005), 10.1.00174088.011:2005. *Pravyla vedennia girnychych robit na plastakh, shkylnykh do gazodynamichnykh yavishch* [10.1.00174088.011:2005. Rules of mining on the seams, which propensity to gas dynamic phenomena], Kyiv, Ukraine.

7. Ministry of Coal Industry of Ukraine (1994), DNAOT 1.1.30-6.09.93 *Rukovodstvo po proyektirovaniyu ventilyatsii ugolnykh shakht* [SNALS 1.1.30-6.09.93 Guidance on planning of ventilation of coal mines], Osnova, Kyiv, UA.

8. *Rukovodstvo po borbe s pylju v ugonnykh shakhtakh* [Guidance on a fight against a dust in coal mines] (1979), Nedra, Moscow, SU.

9. Ministry of Coal Industry of Ukraine (1997), KD 12.01.401-96 *Endogennyye pozhary na ugolnykh shakhtakh Donbassa. Preduprezhdeniye i tusheniye. Instruksiya. Izdaniye ofitsialnoye* [KD 12.01.401-96 Endogenous fires in the coal mines of Donbass. Prevention and suppression. Instructions. Official publication], NIIGD, Donetsk, UA.

10. Medvedev Je.N., Saranchuk V.I. and Kachan V.N. (1984) "Evaluation of the dust-generating capacity of coals in the series of metamorphism", *Coal of Ukraine*, no. 9, pp 32-33.

11. Akinshin B.T. (1985), "Metamorphism and relationship of micro- and macroporous structure, moisture content of coal with gas contents of lava", *Coal of Ukraine*, pp. 37-39.

12. Antoshchenko N.I. and Shepelevich V.D. (2006), *Metan v ugolnykh plastakh ot obrazovaniya do vydeleniya* [Methane in coal beds from education to the selection], DonGTU, Alchevsk, UA.

13. Mironov K.V. (1982), *Spravochnik geologa-ugolshchika* [Reference book of coal geologist-miner], Nedra, Moscow, SU.

14. Zheldakov M.E. and Ivanova Je.I. (1980), *Spravochnik po kachestvu antracitov Sovetskogo Sojuza* [Reference book in quality антрацитов of Soviet Union], Nedra, Moscow, SU.

15. *Geologo-uglehimicheskaya karta Donetskogo basseyna. Vypusk VIII. Obosnovanie postroeniya geologo-uglehimicheskoy karty Donetskogo basseyna* [Geological-coal-chemical map of the Donetsk pool. Producing VIII. Ground of construction of Geological-coal-chemical map of the Donetsk pool.] (1954), Ugletekhizdat, Moscow, SU.
16. Jettinger I. L. and Shulman N. V. (1975), *Raspredelenie metana v porakh iskopaemykh ugley* [Distribution of methane in the pores of fossil coals], Nauka, Moscow, SU.
17. Gapeev A. A. (1949), *Tverdye goruuchie iskopaemye (kaustobiolity)* [Hard fuels are minerals (caustobioliths)], Gosudarstvennoe izdatelstvo geologicheskoy literatury, Moscow, SU.
18. Menkovskiy M. A. (1973), *Analiticheskaya Khimiya i tekhnicheskyy analiz ugley* [Analytical chemistry and technical analysis of coals], Nedra, Moscow, SU.
19. Uspenskiy V. A. (2006), "The experience of the material balance of the processes occurring during the metamorphism of coal seams", *Petroleum Geology - Theoretical and Applied Studies*, no 1, pp. 12.
20. Danilov O. S., Miheev V. A. and Moskalenko T. V. (2011), "The relationship between the genetic and technological parameters of coals, adopted in the classification, with the structural parameters of their organic matter", *Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal)*, no. 8., pp. 100 -104.
21. Oparin V.N., Kiryaeva T.A., Tanaino A.S., Efimov V.P., Astrakhantsev I.E., Gavrilov V.Y., Shutilov R.A., Grenev I.V. and Kovchavtsev A.P (2014), "About some features of cooperation between geomechanical and physical and chemical processes in the coal beds of Kuzbass", *Journal of Mining Science*, Vol. 50, no. 2, pp. 191-214.
<https://doi.org/10.1134/S106273911402001X>
22. Vialov V. [and others] (1994), "The qualities and properties of anthracites of the main coal basins and deposits of the CIS and their rational use", *Overview information. Geology, methods of searching, exploration and estimation of deposits of fuel and energy raw materials*, no. 6, pp. 1-74.
23. Ganova S. D., Skopinceva O. V. and Isaev O. N. (2019), "On the issue of studying the composition of hydrocarbon gases of coals and dust to predict their potential hazard", *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, Vol 331, no 6.

Об авторах

Антощенко Николай Иванович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры химии и охраны труда, Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля (ВНУ им. В.Даля), Северодонецк, Украина, kaf.zfx.sti@gmail.com.

Тарасов Вадим Юрьевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры химии и охраны труда, Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля (ВНУ им. В.Даля), Северодонецк, Украина, vatarasov81@gmail.com.

Заика Раиса Григорьевна, кандидат технических наук, доцент, зав. кафедры химии и охраны труда, Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля (ВНУ им. В.Даля), Северодонецк, Украина, chemistry@snu.edu.ua.

Захарова Ольга Ивановна, кандидат химических наук, доцент, доцент кафедры химии и охраны труда, Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля (ВНУ им. В.Даля), Северодонецк, Украина, rubej10@gmail.com

Золотарева Елена Вячеславовна, кандидат педагогических наук, доцент, доцент кафедры химической инженерии и экологии, Восточноукраинский национальный университет имени Владимира Даля (ВНУ им. В.Даля), Северодонецк, Украина, 22helen72@gmail.com

About the authors

Antoshchenko Mykola Ivanovych, Doctor of Technical Sciences (D. Sc), Professor, Professor in the Department of Chemistry and Industrial Safety Measures, Volodymyr Dahl East Ukrainian National University (VDEUNU), Severodonetsk, Ukraine, kaf.zfx.sti@gmail.com.

Tarasov Vadym Yuriyovych, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Associate Professor, Associate Professor in the Department of Chemistry and Industrial Safety Measures, Volodymyr Dahl East Ukrainian National University (VDEUNU), Severodonetsk, Ukraine, vatarasov81@gmail.com.

Zaika Raisa Grygorivna, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Associate Professor, Head of the Department of Chemistry and Industrial Safety Measures, Volodymyr Dahl East Ukrainian National University (VDEUNU), Severodonetsk, Ukraine, chemistry@snu.edu.ua.

Zakharova Olha Ivanavna, Candidate of Chemical Sciences (Ph.D.), Associate Professor, Associate Professor in the Department of Chemistry and Industrial Safety Measures, Volodymyr Dahl East Ukrainian National University (VDEUNU), Severodonetsk, Ukraine, rubej10@gmail.com

Zolotariova Olena Viacheslavivna, Candidate of Pedagogic Sciences (Ph.D.), Associate Professor, Associate Professor in the Department of Chemical Engineering and Ecology, Volodymyr Dahl East Ukrainian National University (VDEUNU), Severodonetsk, Ukraine, 22helen72@gmail.com

Анотація. В даний час відомо більше 20 кваліфікаційних показників для встановлення ступеня метаморфічних перетворень вугілля. Більша частина цих показників розроблена для встановлення технологічних властивостей з метою промислового використання вугілля. Завдяки достатній вивченості застосовуваних показників, промислові класифікації постійно удосконалюються. Сучасна класифікація за генетичними і

технологічними параметрами передбачає групування вугілля на марки із застосуванням десяти показників. З них тільки один - масовий вихід летючих речовин при термічному розкладанні вугілля використовується в якості основного показника прояв небезпечних властивостей шахтопластів без належного наукового обґрунтування. До небезпечних властивостей шахтопластів при веденні гірських робіт відносяться: газоносність вугілля, схильність до газодинамічних явищ і самозаймистості, пилоутворювальну здатність і вибуховість вугільного пилу. У промислових класифікаціях основний показник визначається на суху безпопільну органічну масу. Прояв же небезпечних властивостей шахтопластів відбувається при наявності в них як вологи, так і мінеральних домішок. Цей факт не враховується і іншими допоміжними показниками, що застосовуються для прогнозу небезпечних властивостей шахтопластів. Волога в вугільних пластах знаходиться, як мінімум, в чотирьох станах. Вона повністю видаляється при аналізі проб і не враховується в летючих продуктах термічного розкладання вугілля. Таким чином, при використанні показника масового виходу летючих речовин, автоматично ігнорується вплив вологи в будь-якій формі її знаходження у вугіллі на виникнення аварійних ситуацій. Імовірність виникнення аварійних ситуацій в гірських виробках в значній мірі визначається співвідношенням між компонентами органічної маси (C, O, H, S, N) і мінеральними домішками. Це також не враховується нормативною базою, яка регламентує безпечне відпрацювання вугільних пластів. Класифікаційні показники, визначені різними способами, характеризують різні сторони перетворення вугілля при метаморфічних процесах. Добре вивчені в умовах промислового застосування вихід летючих речовин і середній показник відбиття вітриніту відповідають різним аспектам ступеня перетворення вихідної органічної речовини. Для встановлення небезпечних властивостей шахтопластів неприпустима їх взаємна підміна, що підтверджується нелінійним зв'язком між ними. Встановлено існування генетичного зв'язку між викидо- і пожежонебезпечкою шахтопластов. Це свідчить про необхідність розробки єдиної класифікації небезпечних властивостей шахтопластів за генетичними, гірничо-геологічними і гірничотехнічними параметрам. Науково-обґрунтоване застосування в нормативних документах комплексу класифікаційних показників, які безпосередньо характеризують прояви небезпечних властивостей шахтопластів, буде сприяти зниженню аварійності і травматизму в вугільних шахтах.

Ключові слова: шахтопласти, властивості, газоносність, викидонебезпечність, самозаймання, пилоутворення, вибуховість, волога, метаморфізм, нормативні документи, удосконалення.

Annotation. Currently, more than 20 qualification indicators are known by which degree of metamorphic coal transformations are established. Most of these indicators are designed for determining technological properties with industrial use of coal in mind. Due to sufficient knowledge of the indicators used, industrial classifications are constantly being improved. The modern classification by genetic and technological parameters groups the coals by the grades based on ten indicators. Of these, only one - the mass yield of volatile substances during the thermal decomposition of coal - is used as the main indicator of the manifestation of dangerous properties of coal seams without due scientific justification. Dangerous properties of coal seams during mining include: gas content of coal, a tendency to gas-dynamic phenomena and spontaneous combustion, dust forming ability and explosiveness of coal dust. In industrial classifications, the main indicator is determined for the dry ash-free state of organic matter. Manifestation of dangerous properties of coal seams occurs in the presence of both moisture and mineral impurities. This fact is not taken into account by other auxiliary indicators used to predict the hazardous properties of coal seams. Moisture in coal seams is in at least four states, and it is completely removed while analyzing the samples and is not taken into account in volatile products of thermal decomposition of coal. Thus, when using the indicator of mass output of volatile substances, influence of moisture in any form of its presence in coal on the occurrence of emergency situations is automatically ignored. The probability of emergencies during mining is largely determined by the ratio between components of organic mass (C, O, H, S, N) and mineral impurities. It is also not taken into account in normative documents which regulate safety of coal seam mining. The classification indicators defined in different ways characterize different aspects of coal conversion in metamorphic processes. Volatiles yield and average vitrine reflectance, well studied in industrial applications, correspond to different aspects of degree of conversion of starting organic matter. In order to establish dangerous properties of coal seams, their mutual substitution is unacceptable, which is confirmed by nonlinear connection between them. The existence of a genetic relationship between the outburst and fire hazard of coal seams has been established. This indicates the need to develop a unified classification of the hazardous properties of coal seams by genetic, mining engineering and geological parameters. The scientifically substantiated use in regulatory documents of a set of classification indicators that directly characterize the manifestations of the hazardous properties of coal seams will help to reduce number of accidents and injuries in coal mines.

Key words: coal seams, properties, gas content, outburst hazard, spontaneous combustion, dust formation, explosiveness, moisture, metamorphism, regulatory documents, improvement.

Стаття надійшла до редакції 28.07. 2020

Рекомендовано до друку д-ром геол. наук К.А. Безручком