

защита отключает вводной выключатель и включает секционный. Ток от первого источника увеличивается на величину нагрузочного тока резервируемой секции.

## VI. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы был выполнен литературный обзор, дано краткое описание принципам работы устройств автоматического ввода резерва, построена математическая модель рассмотренного устройства и проведено его испытание на виртуальном полигоне.

По итогам испытаний можно сделать вывод о корректности созданной модели и допустимости ее использования в дальнейшем моделировании работы устройств релейной защиты и автоматики. Результатом работы является отлаженная модель устройства автоматического ввода резерва с пуском по напряжению.

Преимуществом такого подхода является возможность определения параметров срабатывания защит при внешних авариях и достаточности работы защит с минимальными затратами ресурсов. По результатам моделирования возможно оценить целесообразность разработки корректирующих мероприятий, например применения быстродействующего АВР (БАВР).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чебанов К. А., Бурляева В. А., Овчаренко В. Ю. Оптимизация и повышение эффективности функционирования предприятий электросетевого комплекса // Научный вестник Государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Невинномысский государственный гуманитарно-технический институт». 2017. № 1. С. 33–39.
2. Дубицкий М. А. Надежность энергоснабжения и безопасность систем энергетики // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2013. № 9 (80). С. 211–216.
3. Маренич М. К. Факторы обеспечения устойчивого развития электроэнергетической отрасли // Стратегия устойчивого развития в антикризисном управлении экономическими системами: сборник материалов IV Междунар. науч.- практ. конф. 2018. С. 199–206.
4. Правила Устройства Электроустановок (ПУЭ), издание седьмое. М.: НТЦ «ЭНАС», 2003.
5. DIGSILENT PowerFactory // Официальный сайт производителя ПО. URL: <https://www.digsilent.de/en/powerfactory.html> (дата обращения: 01.04.2019).
6. Минахметов А. А., Абдуллин С. А. Анализ главных параметров электросети при аварийных режимах в нефтяных предприятиях и использование средств автоматического включения резерва // Theoretical & Applied Science. 2018. № 1 (57). С. 227–234.
7. Шевырев А. С., Чернов Н. И., Вильданов Р. Г., Бузаева Е. К., Широбоков Е. Д. Анализ системы электроснабжения нефтеперерабатывающих заводов с целью внедрения быстродействующего автоматического включения резерва // Наука и бизнес: пути развития. 2018. № 10 (88). С. 57–60.
8. Васильева Т. Н., Хохликов А. А. Модель для исследования работы устройства автоматического включения резерва в системах электроснабжения // Инновационное развитие современной науки: проблемы, закономерности, перспективы: сборник статей победителей междунар. науч.-практ. конф. 2017. С. 16–20.
9. Грызов В. К., Корольков В. Г. Имитационное моделирование схем автоматического включения резерва и аварийных ситуаций на подстанции // Научные исследования: теория, методика и практика: сборник материалов II Междунар. науч.-практ. конф. 2017. С. 216–228.

УДК-620.9

## ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА В КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ

И. А. Степашкин, А. Г. Михайлов

*Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия*

**Аннотация.** В статье рассмотрены характеристики энергетических топлив и рассмотрена их классификация. Особое внимание уделено топливу – углям Камышанского, Талдинского и Экибастузского месторождений, у которых значение золы остатка  $A$  изменяется от 16,4 до 43 %. Рассмотрено влияние величины  $A$  на значение низшей теплоты сгорания топлива, которая является определяющей характеристикой эффективности работы котла. Приведена графическая зависимость низшей теплоты сгорания от золы остатка для различных видов твердого топлива.

**Ключевые слова:** твердое топливо, котел, низшая теплота сгорания, энергетическая установка.

DOI: 10.25206/2310-4597-2019-1-102-105

## I. ВВЕДЕНИЕ

Различные технико-экономические факторы горючих веществ такие как: стоимость добычи топлива и его транспортировка, запасы топлива, тепловыделение на единицу объема или массы, реакционная способность топлива, отсутствие в продуктах сгорания различных вредных веществ, присутствие в топливе негорючих примесей, таких как вода и зола, доступность топлива для использования и т.д. Все эти факторы показывают целесообразность использования тех или иных горючих веществ в качестве топлива.

Все топливо по агрегатному состоянию подразделяется на 3 вида: твердое, жидкое и газообразное.

Все виды топлива в зависимости от способа получения делятся на естественные (органические) и искусственные. Естественное топливо – это топливо, добыча которого происходит в недрах земли, к такому топливу можно отнести: торф, древесину и др. К искусственному топливу относятся продукты термической переработки естественных топлив. Искусственное твердое топливо получают путем механической переработки, например: разлом и брикетирование.

Органическое топливо является не только источником энергии, но оно также является важным сырьем для производства химической продукции. Большое количество ценных жидких и газообразных соединений, которые являются базовыми для производства многих химических продуктов. Природный газ, мазут и различные виды каменных углей находят применение в разных отраслях промышленности [1].

## II. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В связи с разнообразием химического состава твердых топлив необходимо оценить эффективность каждого топлива в работе энергетических установок. Критерием оценки является низшая теплота сгорания, которая определяет значение КПД котла.

## III. ТЕОРИЯ

В соответствии с существующей классификацией (ГОСТ 25543-2013 «Угли бурые, каменные и антрациты») ископаемые угли в зависимости от значения величины среднего показателя отражения витринита  $R_o$ , теплоты сгорания на влажную беззольную массу  $Q_s^{af}$  и выхода летучих веществ на сухую беззольную массу  $V^{daf}$  подразделяются на бурые, каменные и антрациты (табл. 1) [5].

ТАБЛИЦА 1  
ХАРАКТЕРИСТИКИ УГЛЕЙ

Вид угля	Средний показатель отражения витринита, $R_o, \%$	Теплота сгорания на влажную беззольную массу, $Q_s^{af}$ Мдж/кг	Выход летучих веществ на сухую беззольную массу, $V^{daf}, \%$
Бурый уголь	Менее 0,60	Менее 24	-
Каменный уголь	От 0,40 до 2,59 включ.	24 и более	8 и более
Антрацит	От 2,20 и более	-	Менее 8

Бурые, каменные угли и антрациты обозначают семизначным кодовым числом (см. в ГОСТе) и в зависимости от их генетических параметров и технологических свойств объединяют в технологические марки, группы и подгруппы.

Бурые угли делятся по максимальной влагоемкости на беззольное состояние  $W_{max}^{af}$  на три группы:  $W_{max}^{af}$  50 % и выше, второй бурый (2Б) – с  $W_{max}^{af}$  от 30 до 50 % и третий бурый (3Б) – с  $W_{max}^{af}$  менее 30 %.

Классификация каменных углей производится по выходу летучих веществ на сухую беззольную массу  $V^{daf}$  толщине пластического слоя  $y$  и индексу Рога RI. Антрациты делятся с учетом объемного выхода летучих веществ на сухую беззольную массу  $V_{об}^{daf}$  и анизотропии отражения витринита  $A_R$ . Подгруппа угля (витринитовая или фюзинитовая) определяется в зависимости от содержания фюзинитовых компонентов  $\Sigma OK$ .

Приведенная классификация распространяется на неокисленные угли. Окисленные каменные угли Кузнецкого бассейна в зависимости от величины относительного уменьшения высшей теплоты сгорания на сухое

беззольное топливо  $OK_Q = [Q_s^{daf} - (Q_s^{daf})_{OK}] / Q_s^{daf}$  и количества выветренной массы угля  $OK_{П}$  делятся на две группы (ГОСТ 32356-2013) [6].

Первая группа окисленности характеризуется величиной  $OK_Q$  до 10 % и количеством выветренной массы угля  $OK_{П}$  до 50 %, ко второй группе относятся угли с  $OK_Q = 10-25$  % и  $OK_{П} > 50$ , Последние рекомендуется использовать в районах добычи и прилегающих к ним. При  $Q_s^{daf} < 25,04$  МДж/кг окисленные каменные угли могут быть использованы для факельного сжигания только по согласованию с потребителем в специально сконструированных топочных устройствах.

Окисленные угли отличаются также повышенной влажностью. Если в неокисленных углях значение  $W_f^r$  не должно превышать для марок К, Т 10,0 %; Г, А 11,0 %; Д, СС 12,0 %, то в окисленных углях 1-й группы предельная величина  $W_f^r$  для марки Т 15,0 %; К, СС 18,0 %; Д 23,0 %, а в окисленных углях 2-й группы 27,0 %.

Минеральная часть твердого топлива делится на три группы:

- минералы, связанные с органической частью топлива или образующиеся при ее разложении в процессе углеобразования;
- минералы, занесенные в пласт топлива в результате геологических преобразований в процессе образования пласта;
- минералы горных пород, прилегающих к пласту топлива и занесенных в топливо при его выработке.

Первая группа минералов равномерно распределена по органической части топлива и является источником так называемой внутренней золы.

Вторая группа минералов в зависимости от равномерности их распределения по топливу может быть источником как внутренней, так и внешней золы.

Третья группа дает внешнюю золу.

Количество золы, получаемой при полном сжигании угля, не равно количеству содержащихся в угле минеральных примесей, В состав минеральной части топлива входят глинистые минералы, слюды, карбонаты, сульфаты, сульфиды и ряд других веществ [3].

Одним из основных показателей при делении углей на марки и определении степени метаморфизма является выход летучих веществ  $V^{daf}$ . При быстром нагревании частиц угольной пыли, характерном для пылеугольного сжигания, фактический выход летучих может превышать величину  $V^{daf}$  определенную стандартным анализом, в 1.3–1,5 раза.

Выход летучих и теплота их сгорания определяют реакционную способность топлива, прежде всего склонность к воспламенению угольной пыли. Тепловая ценность летучих (произведение  $V^{daf} \cdot Q_{лет}$ ) характеризует, при прочих равных режимных условиях, время воспламенения частиц пыли. С ростом значения  $V^{daf} \cdot Q_{лет}$  уменьшается время воспламенения угольной пыли.

Поскольку содержание внешнего балласта ( $A^p + W^p$ ) подвержено изменениям в зависимости от условий хранения и способа добычи топлива, т.е. устанавливают глубину химических преобразований в топливе, т.е. вид этого топлива (бурый, каменный уголь, полуантрацит, антрацит) по процентному содержанию элементов в безводном и беззольном составе топлива. Такими массами являются условно горючая и органическая. Понятие горючей массы является условным, так как содержащийся в «горючей» массе топлива азот не горит, а кислород является окислителем и частично уже находится в соединении с другими горючими компонентами:

$$C^r + H^r + O^r + N^r + S^r = 100 \%. \quad (1)$$

В таблице 2 приведены примеры месторождения углей и их характеристики

ТАБЛИЦА 2  
МЕСТОРОЖДЕНИЯ УГЛЕЙ И ИХ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Бассейн, месторождение	Зольный остаток, А, %	Низшая теплота, $Q_H^p$ , ккал/кг	Выход летучих, $V^{daf}$ , %
Камышанский	16,4	5160	29
Талдинский	22	4700	39,5
Экибастузский	43	4000	24

## IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

На рис. 1 приведена расчетная зависимость низшей теплоты сгорания от значения величины золowego остатка для твердого топлива – Камышанский, Талдинский, Экибастузские угли.

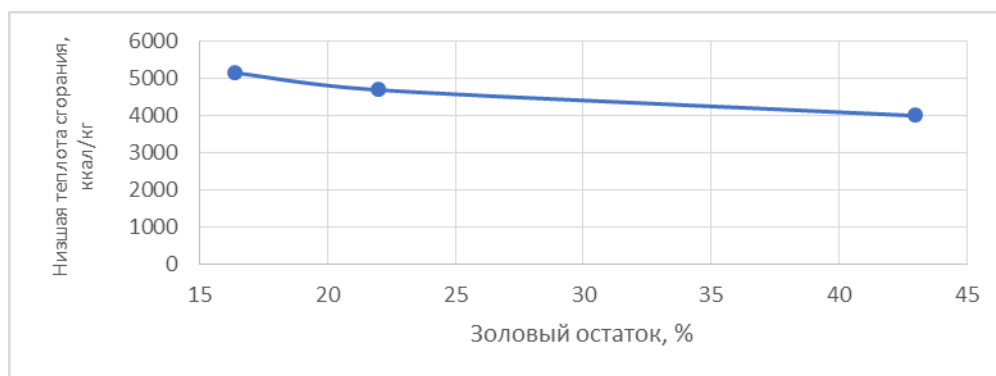


Рис. 1. Зависимость низшей теплоты сгорания от золowego остатка

## V. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

При проведении расчетных исследований установлено, что с увеличением негорючей части (золowego остатка A) наблюдается уменьшение низшей теплоты сгорания топлива  $Q_{н}^F$ , в связи с уменьшением суммарного значения горючей части и летучих веществ.

## VI. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С увеличением негорючей части уменьшается значение низшей теплоты сгорания, что в целом влияет на эффективность работы энергетической установки.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лариков Н. Н. Теплотехника: учеб. для вузов. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1985. 432 с.
2. Липов Ю. М., Третьяков Ю. М. Котельные установки и парогенераторы. Москва-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2005. 592 с.
3. Вербовецкий Э. Х., Жмерик Н. Г. Методические указания по проектированию топочных устройств энергетических котлов. СПб: НПО, ЦКТИ, 1996. 270 с.
4. Слободин Е. Н., Михайлов А. Г., Новикова Э. Э., Теребилов С. В. Численное моделирование процессов теплопереноса при турбулентном горении газового топлива в топочном объеме // Омский научный вестник. 2016. №2 (146). С. 66–68.
5. ГОСТ 25543-2013. Угли бурые, каменные и антрациты. Классификация по генетическим и технологическим параметрам. Введ. 2015. 01.01. М.: Изд-во стандартов, 2015. 20 с.
6. ГОСТ 32356-2013. Угли каменные и антрациты окисленные Кузнецкого и Горловского бассейнов. Классификация. Введ. 2015-01-01. М.: Изд-во стандартов, 2014. 7 с.

УДК 621.374

### РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНОГО УСТРОЙСТВА ОЧИСТКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ОТ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

А. С. Татевосян, А. А. Татевосян, В. Е. Аникин, Г. О. Белявский, Б. В. Чижма  
Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

**Аннотация.** Предложена методика построения многоконтурной схемы замещения электроимпульсного устройства, предназначенного для очистки технологических поверхностей от налипания сыпучих материалов. При построении схемы замещения используется метод затухания постоянного тока в электрической цепи дисковой катушки с якорем, в качестве которого используется пластина из дюралюми-