

П.И. ПИЛОВ, д-р техн. наук,

Е.П. ПИЛОВА, канд. экон. наук

(Украина, Днепропетровск, Национальный горный университет)

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕИМУЩЕСТВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОБОГАЩЕННЫХ УГЛЕЙ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Проблема качества и эффективности использования продукции каменных углей в значительной степени определяется как природными условиями (горно-геологические условия, мощность угольных пластов, их материнская зольность, содержание серы), так используемыми технологиями добычи. Это предопределяет специфику ее решения, отличающуюся от других отраслей промышленности.

Качество топлива в значительной мере предопределяет технико-экономические показатели тепловых электростанций и теплоцентралей.

Одной из особенностей продукции угольной промышленности, потребляемой для энергетических целей, является независимость качества получаемого тепла, пара, электроэнергии от качества топлива. Вместе с тем, обеспечение заданного качества углей связано с дополнительными затратами на их обогащение, либо с потерями горючей массы, например, при применении селективной выемки угольных пластов, при обогащении рядового угля.

Конечной задачей технологического цикла добычи и использования углей является производство конечной продукции – электрической энергии или тепла с минимальной их себестоимостью при данных природных свойствах энергоносителей и техническом уровне энергетики.

Решение этой задачи требует применения технологий, обеспечивающих получение угольной продукции оптимального качества, т.е. такого сочетания потребительских свойств, которое обеспечило бы максимальный экономический эффект с учетом всех затрат связанных с производством и потреблением угля, что достигается снижением удельного расхода.

Экономическая эффективность использования обогащенных углей в энергетике многие годы является предметом исследований. Неоднозначность ответов на этот актуальный вопрос в различные периоды была обусловлена, с одной стороны, изменением во времени соотношений услуг и цен на уголь, угольную продукцию, технологический передел, транспортные услуги. С другой стороны, дальнейшее развитие угольных энерготехнологий, ужесточение экологических требований и нормативов по выбросам в атмосферу вредных веществ приводили к новым сочетаниям экономических условий, которые выдвигали новые задачи исследований в данной области.

Добыча каменных углей имеет ряд особенностей, существенно отличающих ее от других материальных производств. Эти особенности определяются рядом факторов, к которым относятся [4]: пространственная нестационарность

горных работ, зависимость результатов горного производства от характеристик угольного пласта и горно-геологических и горнотехнических условий, невысокая точность информации об объектах горного производства, вероятностный и дискретный характер геотехнологических процессов.

Качество добытого угля формируется под совокупным воздействием большого числа факторов, которые объединяют в группы: природных, экономических и технологических.

Каждый из приведенных факторов, за исключением природных, может быть отнесен к управляемым, в том числе ограниченно управляемым, и неуправляемым, в том числе конъюнктурным. К управляемым факторам относятся те, на которые в той или мере возможны воздействия с целью изменения качества угля или его стабильности относительно желаемого уровня. Неуправляемые факторы не поддаются каким-либо управляющим воздействиям. К ним относится группа природных и экономических факторов. Ряд факторов можно отнести к конъюнктурным [2, 3].

Они связаны с изменчивостью потребности в данном виде угольной продукции, с его количеством на рынке, а также с колебанием цен и другими экономическими изменениями, проявляющимися случайно и независимыми от производителя и потребителя.

Природные свойства углей заданы геолого-генетическими факторами, определившими их петрографические и химико-технологические характеристики, а также физические свойства [2].

Добытый уголь обладает рядом единичных свойств качества, среди которых с позиции потребителя можно выделить полезные, вредные и нейтральные [2].

Полезные свойства определяют основное назначение (функциональность) ископаемых углей. Они выражаются содержанием углерода и других полезных компонентов, теплотворной способностью, спекаемостью и др.

Вредные свойства угля усложняют технологические процессы с его использованием, удорожают стоимость продукта производства (электроэнергии, чугуна и пр.) и нередко приводят к ухудшению его качества. Зольность угля существенно снижает экономические показатели работы тепловых электростанций, повышает расход кокса при доменной плавке, примеси серы фосфора и мышьяка вместе с коксом попадают в чугун и сталь, ухудшая их качество.

К нейтральным относятся такие качества угля, которые не влияют или незначительно влияют на последующие технологические процессы и на качество произведенного продукта.

Характерной особенностью продукции угольной промышленности является ее разовое и многоцелевое использование. В связи с этим различают следующие категории качеств угля: теоретическое, потребительское и интегральное [2, 3].

Теоретическое качество ископаемых углей определяется совокупностью их объективных свойств, таких как петрографический состав, химический состав, теплотворная способность, физико-механические и технологические характе-

Економіка

ристики. Производной этой категории качества является промышленное качество, представляющее собой комплекс таких свойств углей, которые могут быть полезно использованы на современном уровне развития технологий, использующих продукцию угольной промышленности.

Потребительское качество односторонне оценивает свойства продукции угольной промышленности, рассматривая ее лишь с позиций конкретного потребителя, основываясь на его уровне технологии и экономики. Каждое предприятие-потребитель заинтересовано в использовании углей высокого качества, так как собственные производственные затраты при этом сокращаются. Поэтому категория "потребительское качество" не отражает интересы общества в целом, а выгодна лишь конкретному потребителю.

В отличие от потребительского, интегральное качество определяется на основе учета показателей совокупности производств, участвующих в создании конечного продукта. Например, горнодобывающего, перерабатывающего (обогащение), металлургического, энергетического и др. В основе интегрального подхода к оценке качества продукции угольной промышленности должно лежать стремление к получению суммарного эффекта по всей цепочке смежных производств, обеспечивая тем самым минимум трудовых и материальных затрат на создание конечного продукта, а также рациональное использование ресурсов недр. Пределом повышения требований к качеству угля должно быть обеспечение минимума затрат на производство конечной продукции [1-10, 12].

Оптимальное качество определяет такую совокупность потребительских свойств угля, которая обеспечивает в производстве конечного продукта наиболее выгодные экономические показатели по сумме затрат на добычу, обогащение и переработку конечного продукта.

Особенностью продукции угольной промышленности, потребляемой для энергетических целей, является независимость качества получаемого тепла, пара, электроэнергии от качества топлива. Однако оно в значительной мере предопределяет технико-экономические показатели тепловых электростанций и теплоцентралей.

Одним из направлений совершенствования угольных энерготехнологий является использования топлива с качеством, при котором обеспечивается его максимальная энергетическая эффективность для каждого из используемых способов сжигания.

Для выбора рациональной степени обогащения углей принята минимизация затрат на производство готовой продукции, качество которой не зависит от качества углей (тепло, пар, электроэнергия) при условии повышения эффективности использования природных ресурсов в пределах технологических возможностей существующих обогатительных фабрик. В качестве технологической основы такой минимизации использовано максимальное количество тепла при оптимальной зольности обогащенного угля и соответствующем ей максимальном выходе концентрата [8-10].

Интегральной характеристикой качества каменных углей как топлива и главным их потребительским свойством является теплотворная способность.

Теплотворная способность каменных углей определяется теплотворной способностью содержащейся в них горючей массы Q^g , их зольностью A^d , а также влажностью W и в общем виде может быть описано уравнением:

$$Q_c = Q^g(1 - A^d - W) - aA^d - cW,$$

где a – коэффициент, зависящей от теплоемкости компонентов золы и количества тепла, необходимого на их термическую диссоциацию; c – коэффициент, учитывающий расход тепла на нагрев и испарение воды.

Исходя из того, что высшая теплота сгорания угля Q^g , является теплоэнергетической характеристикой ископаемых углей, в практике энергетических расчетов используется следующая приближенная формула для определения низшей теплоты сгорания рабочего топлива (или низшей теплоты сгорания на рабочее состояние топлива) путем пересчета высшей теплоты сгорания с учетом количества балластных примесей:

$$Q_p^g = Q^g \frac{100 - A^d - W}{100} - 0,025W, \text{ МДж/кг,}$$

где Q^g – высшая удельная теплота сгорания угля; A^d – фактическая зольность угля на воздушно-сухое состояние, %; W – влажность угля, %.

При сжигании каменных углей не все тепло может быть превращено в товар (пар и электрическая энергия). Доля полезно используемого тепла характеризуется коэффициентом полезного действия (к.п.д.) процессов и устройств для превращения энергетического потенциала углей в другие виды энергии. Следует отметить, что в зависимости от того, что является конечным продуктом теплоэнергетики, технологический цикл производства может включать несколько последовательных операций: сжигание в топке, производство пара в котле с использованием выделившегося при сжигании тепла и превращение энергии пара в электрическую энергию в генераторе.

Коэффициент полезного действия топки, равный отношению полученного количества тепла, которое будет израсходовано на производство пара, к количеству тепла выделяющегося при сжигании угля, зависит от потерь тепла с горячими шлаками и золой, а также термической диссоциации некоторых минералов, содержащихся в угольной породе, т.е.:

$$\eta_k = \frac{Q_n}{Q_0} = \frac{Q_0 - \Delta Q}{Q_0}.$$

Поскольку потери тепла при сжигании ΔQ пропорциональны количеству породы в угле, характеризующемуся зольностью A^d , то зависимость к.п.д. от зольности должна иметь линейный характер:

$$\eta_k = a - bA^d,$$

что подтверждается практикой работы тепловых электростанций.

Для выявления взаимовлияния качества топлива и его физических объемов на производство тепла и электроэнергии была рассмотрена схема производственного комплекса, охватывающего все технологические операции от добычи угля до превращения его в электроэнергию (рис. 1).

Добытая из угольного пласта горная масса Q_0 , с зольностью A_0^d , влажностью W_0 и количеством содержащегося в ней тепла $Q_0 Q_{p0}^H$ может быть направлена непосредственно на сжигание, например на ТЭС. Там в электроэнергию будет превращена его часть, пропорциональная к.п.д., зависящего от зольности, т.е. $Q_0 Q_{p0}^H \eta_e$.

Транспортные расходы при этом пропорциональны количеству перевозимого угля Q_0 и дальности перевозки L . Затраты на приобретение единицы массы топлива будут складываться из его цены, затрат на перевозку и затрат на сжигание, которые возрастают при увеличении зольности. В отвалах ТЭС будет складироваться Q_3 золы и шлаков.

Другая возможная траектория движения горной массы может осуществляться через обогатительную фабрику и, далее, потребителю, т.е. на ТЭС. Задача обогатительной фабрики – отделить пустую породу от горной массы или рядового угля. За счет этого снижается зольность получаемого продукта (концентрата) до величины A_k^d .

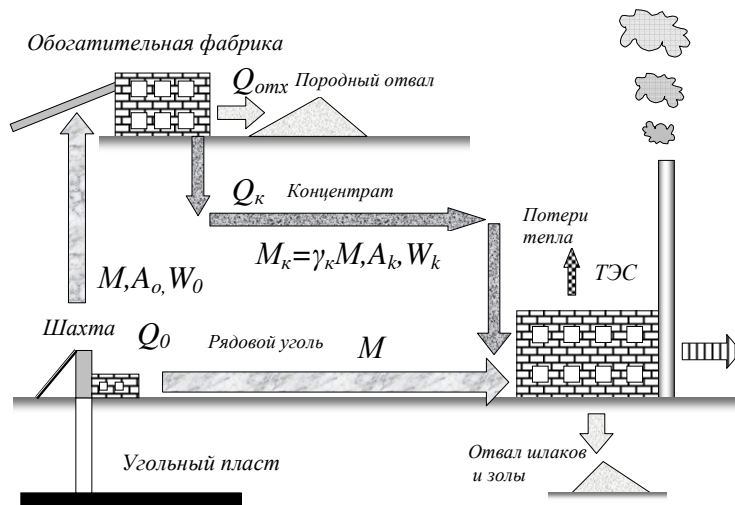


Рис. 1. Схема цикла производства электроэнергии

Однако уменьшается и его количество до величины Q_k . При этом влажность концентрата возрастает до величины W_k . Отделенная порода, представ-

ляющая собой отходы данного технологического цикла в количестве $Q_n = Q_0 - Q_k$, складываются вблизи обогатительной фабрики. Обогажительные фабрики, как правило, располагаются вблизи мест добычи угля, т.е. в непосредственной близости от шахт, либо при них. Поэтому расходы на перевозку горной массы на обогажительную фабрику существенно ниже, чем на транспортирование на ТЭС.

На ТЭС будет транспортироваться меньшая масса $Q_k < Q_0$, и пропорционально снижению физических объемов перевозимого топлива снизятся и транспортные расходы, а также и расходы на его сжигание.

Количество тепла, которое будет содержаться в полученном концентрате, равно $Q_k Q_{pk}^H$, количество тепла, которое может быть превращено в электроэнергию на ТЭС, составит $Q_k Q_{pk}^H \eta_e$. При этом следует иметь ввиду, что количество тепла будет не меньше, чем получаемого при сжигании всей массы необогащенного угля. Это происходит потому, что наряду с уменьшением физического объема топлива из-за снижения зольности растет его низшая теплота сгорания и повышается к.п.д. ТЭС.

Необходимость включения в этот производственный цикл обогажительной фабрики в настоящее время возникает, практически, всегда. Это вызвано тем, что фактическая зольность горной массы при добыче каменных углей в последние годы составляет около 40% и имеет тенденцию к росту. Однако зачастую в результате обогащения получают товарный продукт с зольностью 25%. При этом обогащенный уголь еще не приобрел необходимых теплоэнергетических свойств, что не всегда окупает затрат на его обогащение.

Поэтому исследование степени обогащения горной массы и рядовых углей является актуальной задачей. Ее решение может определить условия, при которых расходы на топлива и его сжигание в себестоимости производства электрической энергии будут минимальными при современном уровне и соотношении цен и услуг, связанных с каменным углем.

Себестоимость производства электроэнергии на тепловых электростанциях определяется суммой условно-постоянных и условно-переменных расходов:

$$C_e = \sum K_i + \sum V_j .$$

Наиболее существенное влияние на себестоимость среди условно-переменных расходов имеет стоимость топлива и расходы, обусловленные его переработкой, т.е. топливная составляющая себестоимости. Ее величина связана с удельным расходом топлива и его стоимостью [1, 4-10].

В качестве целевой функции разработанной технолого-экономической модели использована топливная компонента в себестоимости производства тепла и производства электроэнергии.

При ее исследовании учено два аспекта: производство тепла, где проявляется экономическая сторона качества топлива, обуславливающая его количество и соответствующие ему затраты, и производство электроэнергии, как техно-

Економіка

логической операции производства тепла и превращения его в электроэнергию. Вторая фаза, в известной мере, уже не связана с качеством топлива и ее экономические показатели целиком обусловлены затратами на генерирующие мощности. Но поскольку конечным продуктом ТЭС является электроэнергия, то рассмотрение экономической стороны ее производства необходимо осуществлять во взаимосвязи с качеством топлива.

При производстве электрической энергии затраты на топливо слагаются из себестоимости добычи угля или его цены в случае его покупки у производителя C_y , затрат на обогащение $C_{об}$, на транспортирование $C_{тр}$, погрузочно-разгрузочные работы C_n , складирование $C_{ск}$, а также подготовку топлива к сжиганию (на измельчение и сушку) C_u . При этом величины $C_{тр}$, C_n , $C_{ск}$, C_u зависят от количества транспортируемого и обрабатываемого топлива.

Рассмотрим в качестве исходного продукта горную массу, полученного при добыче угля. Для превращения ее в топливо необходимо снизить зольность до параметров качества, соответствующих готовой продукции угольной промышленности.

Это может быть осуществлено с использованием технологических операций, которые относятся к предобогащению (выборка породы, сортировка и пр.), либо путем глубокого обогащения с получением концентратов различного качества.

В случае обогащения угля количество топлива снижается пропорционально выходу концентрата γ_k , определение которого изложено в работах [11].

Таким образом, затраты ТЭС на топливо, получаемого из одной тонны угля составят:

$$C_m = C_y + C_{об} + \gamma_k (C_{тр} + C_n + C_{ск} + C_u).$$

Количество тепла, получаемого из этого топлива и превращаемого в электроэнергию, равно произведению массы, пропорциональной выходу концентрата, низшей теплоты сгорания рабочего топлива и коэффициента полезного действия ТЭС, т.е.

$$Q_n = \gamma_k Q_{pk}^H \eta_e.$$

Изменение стоимости топливной составляющей себестоимости производства электроэнергии в зависимости от качества и количества обогащенного угля можно оценить по стоимости топлива в производстве полезного тепла:

$$C_Q = \frac{C_m}{Q} = \frac{C_y + C_{об} + \gamma_k (C_{тр} + C_n + C_{ск} + C_u)}{\gamma_k [Q^g (100 - A_k - W) / 100 - 0,025 W] \eta_e}.$$

Минимизация стоимости топливной компоненты или себестоимости производства пара при сложившемся уровне цен и услуг и при неизменном техни-

ческом уровне ТЭС может быть осуществлена за счет вариации соотношения зольности и выхода угольных концентратов, производимых на обогатительных фабриках при использовании имеющихся технологических возможностей углеобогащения.

В результате вычислительного эксперимента с использованием фракционных составов рядовых углей установлена экстремальная зависимость количества полезного тепла, выделяющегося при сжигании концентрата, полученного из килограмма рядового угля при различной степени обогащения (рис. 2).

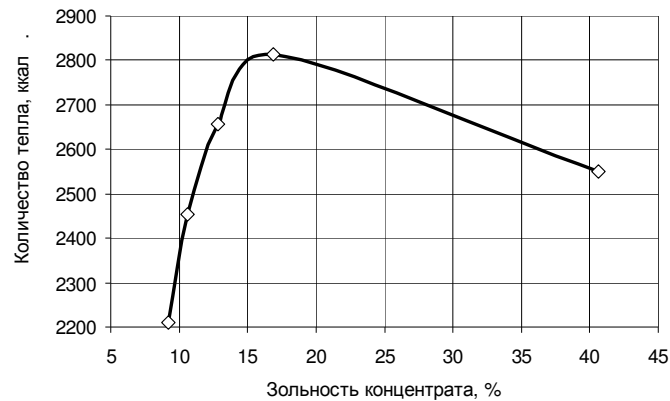


Рис. 2. Количество теплоты, выделяющегося при сжигании концентрата, полученного из килограмма рядового угля при различной степени обогащения

Наличие экстремума доказывает повышение количества полезного тепла с увеличением степени обогащения угля за счет повышения теплотворной способности угольного концентрата и роста к.п.д. его сжигания. Установлено, что экстремум наблюдается при зольности концентрата, равной зольности беспородной массы угля.

Из анализа распределения серы по фракциям плотности угля установлено, что ее содержание во всех фракциях практически одинаково.

Это объясняет то, что снижения содержания серы в концентрате не происходит. Однако количество выбросов диоксида серы в атмосферу может быть сокращено почти в 2 раза, поскольку из обогащенного концентрата можно получить больше полезного тепла, но при этом сжигается только концентрат, количество которого меньше рядового угля.

Расчет количества серы, выделяющейся при сжигании концентрата, полученного из килограмма рядового угля при различной степени обогащения, показывает наличие экстремальной зависимости с минимумом, соответствующим зольности беспородных фракций угля (рис. 3).

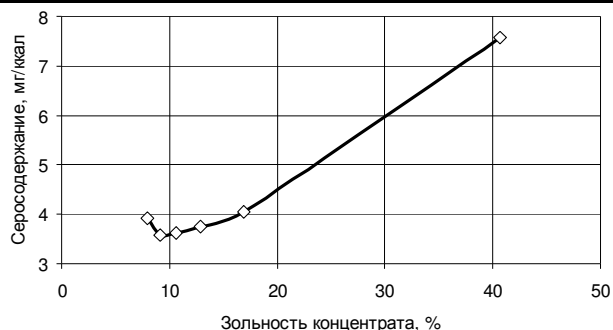


Рис. 3. Количество серы, выделяющейся при сжигании концентрата, полученного из килограмма рядового угля при различной степени обогащения

В результате исследования рядовых углей различного качества, обусловленного как природными, так и горно-технологическими факторами, установлено, что минимальная стоимость единицы полезного тепла имеет место при сжигании максимального извлеченных из горной массы и очищенных от засоряющих пород угольных и промежуточных фракций. Величина этого минимума связана также с применяемыми технологиями углеобогащения и сжигания. Дополнительное извлечение угольных фракций при обогащении, связанное с применением новых технологий приводит к повышению эффективности использования энергетического потенциала угля, однако оно должно быть экономически оправдано.

Минимальная себестоимость готовой продукции существующих теплоэнергетических предприятий, производящих тепло и электроэнергию будет при сжигании угольных концентратов с зольностью, соответствующей зольности беспородных фракций. Выход концентратов должен быть максимально возможным для углей данного фракционного состава в условиях применяемых технологий обогащения.

Список литературы

1. Горшков А.С. Техничко-экономические показатели тепловых электростанций. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 240 с.
2. Еремин И.В., Броневец Т.М. Марочный состав улей и их рациональное использование: Справочник. – М.: Недра, 1994.– 254 с.
3. Ломоносов Г.Г. Горная квалиметрия. – М.: Издательство МГТУ, 2000. – 201 с.
4. Марченко М.Г., Филиппов В.М. Стандартизация и нормирование качества углей. – М.: Недра, 1977. – 247 с.
5. Неженцев В.В., Дубовик В.С. Повышение эффективности использования топливно-энергетических ресурсов в промышленности. – К.: Техника, 1990. –128 с.
6. Пилов П.И., Шаров А.И., Пилова Е.П. Технологическо-экономическая модель обоснования качества угля для энергетики // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2001. – №3. – С. 161-165.
7. Пилов П.И., Пилова Е.П. Технологическо-экономическое обоснование качества каменных углей для энергетики // 8-й международный семинар "Уголь в металлургии и энергетике". – Ялта, 2002. – С. 40-52.
8. Пилова Е.П. Улучшение экономических показателей производства угольных кон-

центратов для енергетики за счет повышения их качества // Ин-т економіки промисловості НАН України. Економіка промисловості: Сб. науч. тр. – Донецк, 2002. – С. 373-281.

9. Пілова К.П. Економічна ефективність та раціональний ступень збагачення кам'яного вугілля для енергетики // СХІД. – 2003. – № 2(52). – С. 13-17.

10. Пілова Е.П. Методологія економічного обґрунтування якості каменних вугілля на основі підвищення ступеня використання їх енергетичного потенціала // Академічний огляд. – 2003. – №1. – С. 53-61.

11. Справочник по обогащению углей. / Под ред. И.С. Благова, А.М. Коткин, Л.С. Зарубина. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1984. – 614 с.

12. Pilov P.I., Pivnyak G.G., Bondarenko V.I., Tratchuk A.M. The development conception of coal technologies in Ukraine // United nations commission for Europe. Meeting of experts on clean coal technologies. – Szczyrk (Poland), 1995. – P. 57-63.

© Пилов П.И., Пилова Е.П., 2012

Надійшла до редколегії 20.03.2012 р.

Рекомендовано до публікації д.т.н. І.К. Младецьким