

Топливо и энергетика

УДК 662.66:662.613.13:543.822

Сегрегация пыли энергетических углей и топливных смесей по зольности и выходу летучих

**Чернявский Н.В., Провалов А.Ю.,
Голенко И.Л., Процко А.А., Кирута В.Л.**

Институт угольных энерготехнологий НАН Украины, Киев

Исследован эффект сегрегации при пылеприготовлении антрацитового штыба отсева, антрацитового штыба обогащенного и топливных смесей с выходом летучих веществ, характерным для тощего угля, на Трипольской и Змиевской ТЭС. Установлено, что зольность мелкой сбросной пыли антрацитового штыба обогащенного увеличивается, сегрегация по выходу летучих веществ при размоле смесей топлив с близкой крупностью и зольностью несущественна, а при размоле шихт из сортового антрацита и высокозольного каменного угля наблюдается увеличение зольности и выхода летучих веществ в бункере, что негативно влияет на взрывобезопасность и условия горения.

Ключевые слова: тепловые электростанции, уголь, антрацитовый штыб, пылеприготовление, зольность, выход летучих веществ.

Досліджено ефект сегрегації при пилоприготуванні антрацитового штибу відсіву, антрацитового штибу збагаченого та паливних сумішей з виходом летких речовин, характерним для пісного вугілля, на Трипільській та Зміївській ТЕС. Встановлено, що зольність дрібного скидного пилу антрацитового штибу збагаченого збільшується, сегрегація за виходом летких речовин при розмелі сумішей палив з близькою крупністю та зольністю несуттєва, а при розмелі шихт із сортового антрациту та високозольного кам'яного вугілля спостерігається зростання зольності та виходу летких речовин пилу в бункері, що негативно впливає на вибухобезпеку та умови горіння.

Ключові слова: теплові електростанції, вугілля, антрацитовий штиб, пилоприготування, зольність, вихід летких речовин.

В течение последнего десятилетия важнейшей задачей для энергетики Украины было снижение использования на ТЭС природного газа и мазута за счет приближения калорийности угля к проектным требованиям котлоагрегатов. Благодаря внедрению жестких нормативных требований к качеству энергетических углей и прогрессивной шкалы скидок-надбавок за отклонение качества от базового зольность углей в поставках на ТЭС снизилась от 36–38 до 24–26 %, калорийность увеличилась от 17–19 до 22–23 МДж/кг [1, 2], что позволило в 2009 г.

уменьшить долю газа в топливной базе пылеугольных ТЭС до менее 3 % [3].

Уменьшение потребления газа на ТЭС способствует энергетической независимости Украины. Однако, это вызывает повышение потребления энергетического угля, что в условиях стагнации угледобычи обостряет его дефицит. При этом надо учесть, что около половины энергоблоков ТЭС спроектировано для сжигания углей газовой группы, остальные — антрацита и тощего угля. Дефицит углей газовой группы удастся в основном покрыть за счет перенаправления из коксо-

химической промышленности в энергетику углей марок ДГ, Г, Ж двойного назначения, а антрацита за счет увеличения добычи крупнейшими ГП «Ровенькиантрацит» и «Свердловантрацит». Уголь марки Т добывается в основном негосударственными предприятиями, крупнейшее из которых, шахта «Комсомолец Донбасса», снабжает исключительно ТЭС ООО «Востокэнерго». Таким образом, доля тощего угля в топливной базе антрацитовых ТЭС НАК «Энергетическая компания Украины» постоянно снижается.

Использование тощего угля на антрацитовых ТЭС, допускаемое проектными и эксплуатационными требованиями к котлоагрегатам и системам пылеприготовления, обусловлено улучшением условий воспламенения и горения и снижением необходимого уровня подсветки факела угольной пыли с повышенным выходом летучих веществ [4]. В условиях острой потребности антрацитовых ТЭС в тощем угле поставщики пытаются заменить марку Т смесями (шихтами). Так, в 2009 г. ГП «Уголь Украины» по согласованию с ОАО «Центрэнерго» на основании разработанных Техническим комитетом Украины по стандартизации ТК 92 технических условий «Уголь Г/А энергетический» организовало на ГОФ «Славяносербская» производство равномерной смеси 10–20 % газового угля и 90–80 % антрацита с выходом летучих веществ на сухую беззольную массу, соответствующим тощему углю ($V^{daf} = 8–12\%$). Анализ равномерности шихтования, испытания пылесистемы и сжигания угля Г/А в котлоагрегатах ТПП-210А блоков 300 МВт Трипольской ТЭС, выполненные при участии Института угольных энерготехнологий НАН Украины (ИУЭ) и ОАО «ЛьвовОРГРЭС», показали уменьшение мехнедожога и возможность снижения подсветки по сравнению с антрацитовым штыбом (АШ, 0–6 мм) той же зольности [5], что позволило при выполнении всех необходимых мер безопасности перейти в зимний период на одном из блоков на сжигание угля Г/А без подсветки. Аналогичные испытания при участии ИУЭ были выполнены и на блоке № 8 мощностью 310 МВт Змиевской ТЭС.

Однако такие примеры единичны. Чаще на ТЭС под видом тощего угля приходят произ-

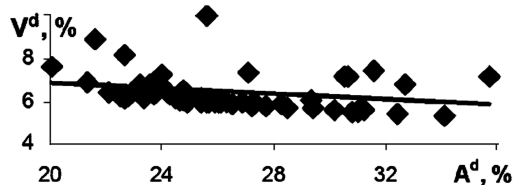


Рис. 1. Зависимость выхода летучих на сухую массу V^d от зольности угля.

вольные, не всегда равномерные, смеси углей разных марок, зольности и крупности, подобранные так, чтобы зольность и выход летучих веществ в объединенных пробах удовлетворяли договорным требованиям для марки Т. Пылеприготовление таких смесей связано с большим риском. Дело в том, что размолоспособность углей в шаробарабанных мельницах зависит от марки, крупности и зольности угля. Смесей, в которых эти характеристики компонентов сильно разнятся, могут проявлять склонность к сегрегации — изменению долей компонентов в зависимости от размера частиц пыли, что ставит в различные условия взрывоопасности контуры возврата сепаратора (крупная пыль $R_{90} = 30–55\%$), бункер пыли ($R_{90} = 5–7\%$) и тракт выноса мелкой пыли размером < 50 мкм из циклонов в сбросные горелки.

Настоящая работа посвящена исследованию сегрегации пыли при размоле угольных смесей на Трипольской и Змиевской ТЭС. В качестве целевых характеристик выбраны выход летучих веществ V^{daf} и зольность A^d исходного топлива и угольной пыли различной крупности. В ходе испытаний пыль из сепараторов и бункера отбиралась персоналом ТЭС, пыль выноса из циклонов — представителем ИУЭ по оригинальной методике изокинетическим пробоотборником с высокоэффективным фильтром [5].

Объектом первой части исследования был уголь Г/А, составленный из АШ и газового угля сорта ГСШ (размер 0–13 мм) и должным образом сертифицированный. В течение июля 2009 г. на Трипольской ТЭС выполнялось опробование партий не только по объединенным, но и по точечным пробам. Средняя зольность угля Г/А в партиях $A^d = 26,7 \pm 3,4\%$, выход летучих $V^{daf} = 8,9 \pm 1,6\%$, что свидетельствует о равномерности его шихтования. Дополнительно равномерность шихтования можно оценить по методике, предложенной в [6], которая учитывает вклад термического разложения минерального вещества угля в наблюдаемый выход летучих.

На рис. 1 представлена зависимость выхода летучих на сухую массу V^d от зольности угля Г/А, которая аппроксимируется выражением:

$$V^d = [V^{daf} (100 - A^d)] / 100 + (V_A A^d) / 100, \quad (1)$$

где $V^{daf} = 8,1\%$; V_A — степень термического разложения минеральной части, $V_A = 1,8\%$.

В [6] максимальные значения V_A для углей Украины не превышают 4–10%. Попадание величины V_A в допустимый диапазон говорит о том, что уголь Г/А составлен из компонентов с близкой зольностью.

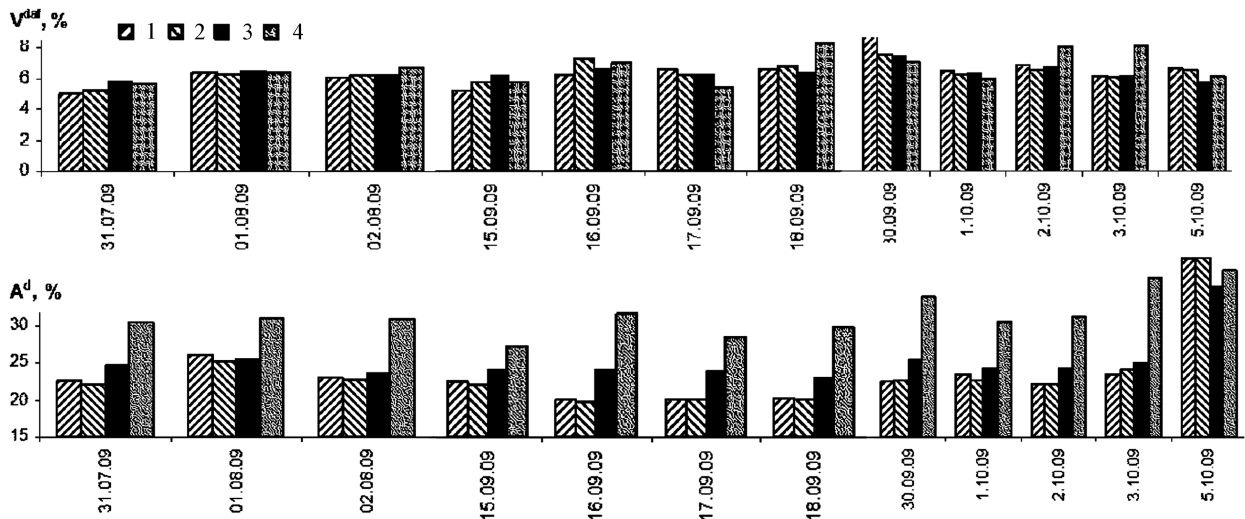


Рис.2. Выход летучих V_{daf} и зольность A^d пыли Г/А различной крупности (из разных контуров пылесистемы Трипольской ТЭС): 1 – сепаратор внешний; 2 – сепаратор внутренний; 3 – бункер пыли; 4 – вынос.

Характеристики смеси Г/А с АШ из ПСУ Трипольской ТЭС

Дата	$W_{тг}$, %	A^d , %	V_{daf} , %	Дата	$W_{тг}$, %	A^d , %	V_{daf} , %
31.07.09	5,3	24,0	6,9	18.09.09	8,2	24,1	5,1
01.08.09	6,8	25,5	5,9	30.09.09	8,6	25,1	7,7
02.08.09	5,7	22,6	5,9	01.10.09	8,8	24,8	6,0
15.09.09	6,7	24,7	3,9	02.10.09	7,7	22,4	6,5
16.09.09	6,7	25,4	3,9	03.10.09	6,2	21,9	6,2
17.09.09	8,0	25,4	4,4	05.10.09	8,6	34,6	5,7

По условиям испытаний на Трипольской ТЭС, перед подачей в бункер сырого угля (БСУ) уголь Г/А дополнительно шихтовался с хранящимся на складе АШ в разных пропорциях. В таблице даны характеристики шихты по суточным пробам из питателя сырого угля (ПСУ) в разные периоды испытаний.

На рис.2 показаны выход летучих и зольность пыли различной крупности в разные периоды испытаний. Явной (за пределами доверительного интервала от среднего значения угля) сегрегации пыли по выходу летучих не наблюдается, что подтверждает безопасные условия пылеприготовления равномерной шихты углей двух марок с близкой зольностью. Для угля с $A^d = 22-25\%$ зольность пыли из сепараторов и бункера близка к зольности сырого угля, но одновременно наблюдается эффект увеличения зольности со снижением размера пыли; при $A^d > 30\%$ этот эффект отсутствует. Данный эффект можно объяснить, используя данные [7] о распределении золы в угольной продукции.

Как показали исследования ИУЭ на Старобешевской ТЭС, основная часть золы АШ отсева сосредоточена в породе и минералоугольных сростках (характерный размер 0,1–10,0 мм), а АШ обогащенного (концентрата), из которого

порода и минералоугольные сростки удалены, – в углеминеральных сростках (характерный размер 1–100 мкм). При размоле концентрата мелкие сростки отделяются в первую очередь и выносятся из циклона. При размоле АШ отсева не происходит повышения зольности выноса по сравнению с более крупной пылью, так как последняя содержит размолотую золу из более крупных включений.

Аналогичные результаты в ходе испытаний угля Г/А в ноябре-декабре 2009 г. были получены на Змиевской ТЭС. На рис.3 показана зависимость выхода летучих веществ от зольности угля Г/А на приходе (по (1), $V_{daf} = 8,4\%$, $V_A = 1,0\%$), на рис.4 сопоставлены выход летучих веществ и зольность исходного угля и пыли в бункере. Данные подтверждают, что при близкой зольности и крупности компонентов шихты и равномерном шихтовании заметной сегрегации пыли не происходит.

Иные свойства показало топливо, поставленное на Змиевскую ТЭС в июне 2010 г. как уголь марки Т. При том, что в первой декаде июля пробы сырого угля (рис.5,а) не показывали существенных отклонений от характерных

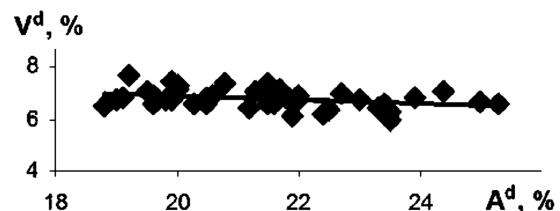


Рис.3. Зависимость выхода летучих от зольности угля Г/А.

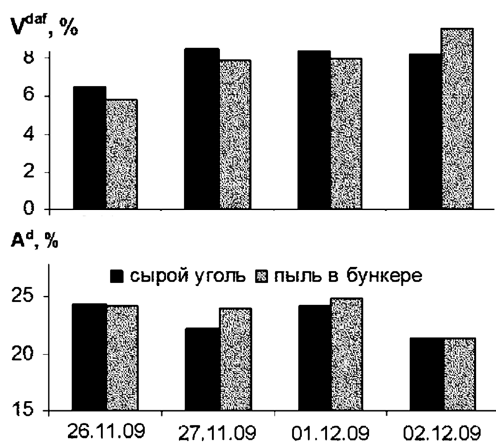


Рис.4. Сопоставление характеристик сырого угля Г/А и пыли в бункере.

для тощего угля ($A^d = 24,9 \pm 1,7$ %, $V_{daf} = 12,4 \pm 1,8$ %), пыль в бункере обнаруживала тенденцию к росту зольности и выхода летучих (рис.5,6), а средние значения и среднеквадратичные отклонения обеих характеристик пыли были существенно большими, чем у сырого угля ($A^d = 27,9 \pm 2,5$ %, $V_{daf} = 15,0 \pm 2,9$ %). Налицо имелась сегрегация пыли по зольности и выходу летучих, что повлекло за собой ухудшение показателей горения и необходимость увеличения газовой подсветки. Была поставлена под угрозу взрывобезопасность пылесистемы, особенно 08.07.10, когда величина V_{daf} достигла 19–20 % (для углей марки Т максимальное значение V_{daf} – 18 %). По просьбе руководства Змиевской ТЭС к экспертизе данного явления был привлечен ИУЭ.

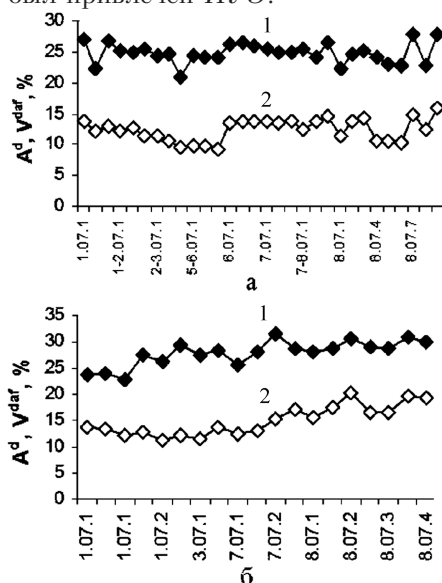


Рис.5. Сопоставление характеристик сырого угля марки Т (а) и пыли в бункере (б) на Змиевской ТЭС в июле 2010 г.: 1 – зольность; 2 – выход летучих.

У данного угля выявилась устойчивая тенденция роста выхода летучих с увеличением зольности (рис.6). Обработка по формуле (1) показала $V_{daf} = -(0,1-1,9)$ %, $V_A = 39-43$ %. Эти значения нельзя признать реалистичными: во-первых, выход летучих на сухую беззольную массу не может быть отрицательным; во-вторых, минеральная часть угля не может обладать столь высокой степенью разложения за время определения выхода летучих (для сравнения: степень термического разложения чистого известняка не превышает 44 % даже при длительной выдержке).

Объяснением данной тенденции может быть только то, что поставленное топливо является смесью компонентов с существенно различными показателями, причем малозольный компонент характеризуется низким, а высокозоль-

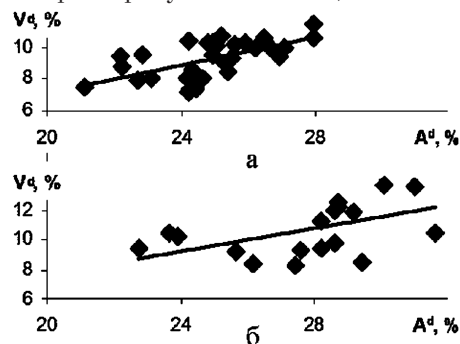


Рис.6. Зависимость выхода летучих веществ от зольности сырого угля (а) и пыли (б) на Змиевской ТЭС в июле 2010 г.

ный высоким выходом летучих веществ. На угольных предприятиях такая практика используется для сбыта неликвидного сортового угля, например, АС (размер 6–13 мм, $A^d = 13-15$ %), и снижения зольности АШ отсева, который шихтуется с АС. Однако до недавнего времени с другими марками угля АС не смешивали.

На рис.7 представлены расчетные характеристики шихты, составленной из АС ($A^d = 14$ %, $V_{daf} = 5,8$ %) и высокозольного угля с выходом летучих, близким к верхнему пределу для марки Т ($A^d = 32$ %, $V_{daf} = 17,6$ %). Расчетная зависимость V^d от A^d близка к фактической (см. рис.6), что подтверждает сделанный вывод.

Другим подтверждением наличия антрацита в шихте является то, что высшая теплота сгорания на сухую беззольную массу топлива $Q_{s,daf} < 33,5$ МДж/кг характерна для антрацита (по ДСТУ 3472, для марки Т $Q_{s,daf} > 33,5$ МДж/кг). Не исключено, что другим компонентом шихты является окисленный тощий либо другой каменный уголь с низкой величиной $Q_{s,daf}$.

При таком составе шихты сегрегация пыли по зольности должна носить принципиально иной

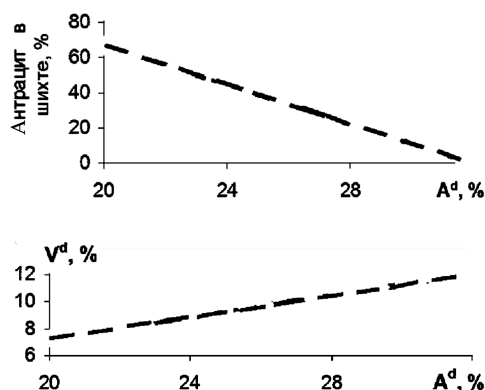


Рис.7. Расчетные характеристики шихты АС и высокозольного каменного угля.

характер, чем обнаруженная для угля Г/А. Считается, что размолоспособность антрацита ниже, чем каменных углей, однако это определено для частиц одного размера и с примерно одинаковой зольностью. Если крупность антрацита в шихте ограничена, а высокозольного каменного угля — нет, то в состав шихты входят крупные высокозольные частицы каменного угля с размолоспособностью более низкой, чем мелкого малозольного антрацита. Действительно, по данным ТЭС, наибольшую зольность имеет крупная (> 13 мм) фракция данного топлива.

Это приводит к тому, что при размоле антрацита образуется существенно больше мелочи, проскакивающей циклон. Соответственно зольность и выход летучих веществ пыли, улавливаемой циклоном, возрастают. Такая сегрегация пыли по выходу летучих веществ ведет к повышенной взрывоопасности пылесистемы, а по зольности — к снижению ее производительности, к необходимости увеличения подсветки факела пыли с повышенной зольностью и к повышению механического недожога топлива.

Выводы

Обнаруженная сегрегация пыли АШ, обогащенного по зольности (увеличение зольности мелкой пыли выноса из циклона), связана с тем, что основная часть минерального вещества при его обогащении осталась в виде мелких углеминеральных сростков. Данный эффект требует учета при оценке эффективности сбросных горелок, но на безопасность пылесистемы и условия горения практически не влияет.

Для угля Г/А, составленного из 10–20 % ГСШ и 90–80 % АШ обогащенного, не обнаружено иной сегрегации пыли по зольности, чем характерная для АШ обогащенного, и какой-либо сегрегации пыли по выходу летучих веществ, что подтверждает безопасность пыле-

приготовления и сжигания смесей углей двух марок близкой крупности и зольности.

Топлива, обнаруживающие явную сегрегацию пыли по зольности и выходу летучих веществ, наиболее вероятно идентифицируются как смеси углей разных марок, крупности и зольности. В частности, под видом угля марки Т на Змиевскую ТЭС летом 2010 г. поступило топливо, представляющее собой смесь мелкого малозольного антрацита, предположительно сорта АС, и высокозольного каменного угля крупностью 0–100 или 0–200 мм. Из-за различия размолоспособности малозольного антрацита и высокозольного каменного угля увеличивается проскок малозольной мелочи через циклон на сбросные горелки, а зольность и выход летучих пыли в бункере возрастают, вплоть до нарушений условий взрывобезопасности и горения факела.

Список литературы

1. Майстренко А.Ю., Чернявский Н.В., Стегний Н.Г. Техническое обоснование нормативных требований к качеству энергетических углей и ценовая шкала как средство их реализации // Экологические и ресурсосбережение. — 2007. — № 6. — С. 3–8.
2. Чернявский Н.В., Скляр П.Т., Филиппенко Ю.Н. и др. Нормативная база по качеству угля для сжигания на ТЭС Украины // Тез. докл. III науч.-практ. конф. «Угольная теплоэнергетика: Проблемы реабилитации и развития» (Алушта, 14–18 сент. 2006 г.). — Алушта: НПВК «ТРИАКОН», 2006. — С. 57–60.
3. Сердюк С.Д., Стегний Н.Г., Чернявский Н.В. Особенности работы ТЭС Украины в современных условиях топливно-энергетического рынка // Современная наука: Сб. науч. ст. — 2010. — № 1. — С. 47–50.
4. ГКД 34.10.502–2003. Витрата газомазутного палива під час спалювання на ТЕС України кам'яного вугілля з виходом легких речовин менше 20 %. Норми. — Київ: ОЕП «ГРІФРЕ», 2003. — 29 с.
5. Дедов В.Г., Коземко О.М., Чернявський М.В. та ін. Досвід експериментального спалювання вугілля Г/А на Трипільській ТЕС // Енергетика та електрифікація. — 2010. — № 3. — С. 49–55.
6. Филиппенко Ю.Н., Рудавина Е.В., Скляр П.Т., Чернявский Н.В. Достоверность определения теплоты сгорания и выхода летучих веществ каменных углей в широком диапазоне зольности // Энерготехнологии и ресурсосбережение. — 2009. — № 2. — С. 11–17.
7. Голенко И.Л., Батрак А.А., Чернявский Н.В. Распределение внешней и внутренней золы в угольной продукции для антрацитовых ТЭС // Тез. докл. IV науч.-практ. конф. «Угольная теплоэнергетика: Проблемы реабилитации и развития» (Алушта, 14–18 сент. 2008 г.). — Алушта: НПВК «ТРИАКОН», 2008. — С. 116–118.

Поступила в редакцию 01.11.10

Steam Coals and Solid Fuel Mixtures Dust Segregation by Ash Content and Volatile Yield

*Chernyavskiy N.V., Provalov A.Yu.,
Golenko I.L., Protsko A.A., Kiruta V.L.*

Coal Enrgy Technology Institute of NASU, Kiev

The segregation effect during dust-preparation of riddling anthracite, milled anthracite and fuel mixtures with volatile yield typical for semi-anthracite of Tripolskaya and Zmievskaaya Power Plants is investigated. It is determined that ash content of milled anthracite waste dust increases and segregation by volatile yield during fuel mixtures of similar size and ash content milling is insignificant. During mixtures of graded anthracite and high-ash coal milling ash content and volatile yield in bunker increase is observed. It negatively influences on explosion safety and combustion conditions.

Key words: thermal power plants, coal, anthracite, dust milling, ash content, volatile yield.

Received November 1, 2010

УДК 662.987

Алгоритм расчета теплофизических параметров грунтового теплообменника для теплового насоса

Денисова А.Е., Троицкий А.Н.

Одесский национальный политехнический университет

Рассмотрены преимущества внедрения тепловых насосов на базе грунтовых теплообменников. Разработан алгоритм расчета основных теплофизических параметров грунтового теплообменника, на основе которого возможна оптимизация теплофизических параметров грунтового теплообменника для повышения эффективности отвода низкопотенциальной теплоты от грунта.

Ключевые слова: тепловой насос, грунтовый теплообменник, энергосбережение, энергия грунта.

Розглянуто переваги впровадження теплових насосів на базі ґрунтових теплообмінників. Розроблено алгоритм розрахунку основних теплофізичних параметрів ґрунтового теплообмінника, на основі якого можлива оптимізація теплофізичних параметрів ґрунтового теплообмінника для підвищення ефективності відводу низькопотенційної теплоти від ґрунту.

Ключові слова: тепловий насос, ґрунтовий теплообмінник, енергозбереження, енергія ґрунту.

Использование энергосберегающих технологий является приоритетным направлением в мире, поскольку позволяет снизить энергоемкость и повысить конкурентоспособность продукции и энергонеzависимость страны.

В Украине за счет собственных энергоресурсов обеспечивается половина спроса на энергию (теплота, холод) [1], при этом отечественная энергетика ориентирована преимущественно на потребление природного газа, большая часть которого импортируется, поэтому в перспективе стоимость электричества и тепловой энергии для

нужд промышленности и населения будет расти. Так, стоимость отопления на основе индивидуальных газовых котлов возросла в среднем на 540 % за 5 лет, от 210 грн до 483,60–1790,40 грн за 1000 м³ в зависимости от объема потребления при наличии газового счетчика.

Как показывает опыт зарубежных стран, использование тепловых насосов (ТН) в малой и коммунальной энергетике позволяет достичь немалой экономии органического топлива, запасы которого не бесконечны. Внедрение возобновляемых источников энергии таких, как сол-