

К ВОПРОСУ РЕАЛИЗАЦИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА КОТЛОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ ШАХТНЫХ КОТЕЛЬНЫХ ДОНЕЦКОГО БАСЕЙНА

У статті розглядається використання енергогенеруючого потенціалу шахтних котельних шляхом установки власних турбогенераторів, тип яких вибирається залежно від місцевих умов. Оскільки котельні, що діють, переважно обладнані паровими котлами, які відпрацювали нормативний термін експлуатації, ефективно їх використання спільно з турбоагрегатами доцільно здійснити за рахунок переведення котлоагрегатів з парового у водогрійний режим роботи.

TO THE QUESTION OF REALIZATION ENERGY POTENTIAL BOILER EQUIPMENT OF MINE BOILER ROOMS OF THE DONETSK BASIN

In article is considered use energy generated potential of mine boiler rooms by installation own turbogenerators, which type gets out depending on local conditions. As working boiler rooms are mainly equipped with steam boilers fulfilled normative term of exploitation, their effective use jointly with turbine units is expedient to carry out by conversion boiler units with steam in a water heating operating mode.

В современных условиях рациональное использование и экономия энергетических ресурсов является одним из важнейших приоритетов энергетической политики государства. Современный уровень энергозатрат на единицу ВВП в Украине в 3 – 4 раза выше, чем в других индустриально развитых странах. Одной из причин высокой энергоемкости производства является недостаточное использование имеющегося потенциала энергосбережения. В области сбережения и потребления энергии главной мировой тенденцией на сегодняшний день по праву является технология когенерации, комбинированного процесса по совместному производству тепловой и электрической энергии в пределах одной установки.

Наиболее важными качественными характеристиками когенерационных установок являются эффективное использование топливных ресурсов, автономность и высокие показатели экологичности. Производимая системой энергия является одновременно источником тепла (система отопления помещений, технологические процессы) и источником электроэнергии (технологические процессы, собственные нужды). Из преимуществ энергоэффективности и гибкости технологии когенерации напрямую вытекает высокий экономический потенциал автономных систем энергоснабжения на базе когенерационных установок.

По ряду оценок, рационально спроектированная система когенерации позволяет добиться сокращения затрат на энергию приблизительно в 3 раза по сравнению со стоимостью электричества и тепла от централизованных сетей

энергоснабжения. Это, в свою очередь, означает существенное снижение себестоимости продукции или услуг в целом. При создании автономного источника электроэнергии в непосредственной близости от потребителя существенно возрастает надежность энергоснабжения, отсутствуют потери энергии, весьма значительные при ее передаче на большие расстояния в централизованных сетях, исключаются административные отключения, также следует отметить высокое качество электрической (стабильность частоты и напряжения) и тепловой (стабильность температуры) энергии, вырабатываемой когенерационными установками.

Таким образом, концепция объединения процесса добычи угля и его переработки в тепловую и электрическую энергии на базе местных топлив целесообразна почти на всех шахтах Украины и может быть реализована за счет создания шахтных энергокомплексов на базе когенерационных технологий. Самообеспечение угольных шахт тепловой и электрической энергиями на базе дешевых теплоносителей, высокотемпературных углей и шахтного метана, является актуальной проблемой, решение которой позволит существенно повысить рентабельность, способствует решению социальных и экологических проблем угледобывающих предприятий [1, 2].

При разработке стратегии создания энергокомплексов на базе котельных угольных шахт первоочередной задачей является проведение комплексного обследования основного и вспомогательного оборудования котельных с определением его ресурса и технико-экономических показателей. Для анализа энергогенерирующего потенциала шахтных котельных использованы материалы по десяти шахтам Донецкого бассейна, включающие данные по добыче угля, энергетическим затратам (табл. 1).

Таблица 1 – Объемы потребления тепловой и электрической энергий отдельными шахтами Донбасса за 2003 г. [1]

Показатели <i>Шахты</i>	Добыча угля, млн.т	Потребление тепла, тыс. Гкал			
		Отопление	Калориферы	ГВС	Всего
Им. В.М.Бажанова	0,89	7,82	40,94	11,81	60,57
Им. А.Ф.Засядько	4,0	43,31	76,14	35,04	154,49
Им. М.И. Калинина	0,47	2,26	10,12	6,92	19,29
Им. С.М.Кирова	0,69	11,27	25,04	11,01	47,32
Им.А.А.Скочинского	0,51	4,01	5,61	5,52	15,14
Им. А.Г. Стаханова	0,54	37,21	34,89	15,07	87,17
Красноармейская- Западная	4,3	42,70	37,06	18,57	98,33
Краснолиманская	1,07	4,65	60,00	10,37	75,01
Холодная балка	0,51	11,60	42,67	17,52	71,79
Щегловская-Глубокая»	0,34	9,41	17,05	3,11	29,58
ИТОГО:	13,32	174,24	349,52	134,94	658,69

Анализ состава оборудования вышеуказанных шахт Донецкой области показывает, что основу котельного оборудования составляют паровые котлы, в том числе: ДКВР-6,5-13 – 10 шт., ДКВР-10-13 – 17 шт., ДКВР-20-13 – 5 шт., КЕ-10-13 – 8 шт., КЕ-25-14 – 4 шт. Всего на шахтах Украины эксплуатируется порядка 420 котлов подобных типов (табл. 2), параметры которых приемлемы для создания энергетических надстроек действующих котельных (табл.3). При этом может быть выработано более 1 млрд кВт·ч электроэнергии для собственных нужд угольных шахт [1,3].

Таблица 2 – Структура типоразмеров котлов в угольной промышленности Украины [3]

Тип котла	Количество
ДКВР-6,5-13	150
ДКВР-10-13	203
ДКВР-20-13	30
ДЕ-10-14	7
ДЕ-16-14	2
ИТОГО	414

Таблица 3 – Технические характеристики котлов, применяемых в шахтных котельных

Тип котла	Производительность пара, тонн/час	Давление пара, МПа	Норма потребления топлива	
			Уголь, тонн/час	Природный газ, м3/час
ДКВР-2,5-13	2,5	1,3	0,32	252
ДКВР-4-13, ДКВ-4-13, КЕ-4-14	4	1,3/1,4	0,54	420
ДКВР-6,5-13	6,5	1,3		
ДКВР-10-13, КЕ-10-14, ДКВ-10-13	10	1,3/1,4	1,3	1020
ДКВР-20-13	20	1,3	2	1560
КЕ-25-14	25	1,4	3,2	2520
КЕ-6,5-14	6,5	1,4	1	780
КЕ-1-9, Е-1-9	1	0,9	0,14	108

Поскольку шахтные котельные уже оснащены действующими паровыми котлами, то наиболее целесообразным, с точки зрения минимизации капитальных затрат на оборудование, представляется использование их энергогенерирующего потенциала путем установки в котельной или рядом с ней собственных турбогенераторов, тип которых выбирается в зависимости от местных условий. Данные турбогенераторы, выпускаемые Калужским турбинным заводом, имеют модификации как с турбинами с противодавлением (модели ТГ), так и с конденсационными турбинами (с отбором и без отбора пара, модели соответственно П и ТГУ) и выпускаются на широкий диапазон противодавления

и электрических мощностей. Электрические генераторы для производства электроэнергии в составе когенерационных энергетических модулей изготавливаются ОАО «Привод» (г. Лысьва, Россия), АО «Электросила» (г. Санкт-Петербург), АО «СЭЗ» (г. Сафоново, Россия) [1].

Наряду с известными преимуществами, вышеуказанные установки имеют ряд недостатков, ограничивающих их широкое внедрение, а именно - существенные для отдельного предприятия начальные капитальные вложения на приобретение, монтаж и наладку оборудования, затраты на эксплуатационные издержки, ежегодное специализированное техническое обслуживание. Необходимо отметить, что большинство котельных угольных шахт вырабатывают сухой насыщенный пар с давлением 1,3 МПа и температурой 191 °С. Применительно к этим параметрам промышленностью серийно выпускаются турбогенераторы различных модификаций как с турбинами с противодавлением, так и с конденсационными, обеспечивающих прием пара от котлов с давлением на входе в турбину от 0,7 до 1,4 МПа.

Однако, в связи с тем, что действующие шахтные котельные, преимущественно, оборудованы котлами, изготовленными в 60 – 80 годах прошлого столетия, отработавшими нормативный срок эксплуатации и из-за физического износа функционирующими при пониженном рабочем давлении и температуре, эффективное их использование, совместно с вышеупомянутыми паровыми турбинами, не всегда представляется возможным. По условиям надежности работы котлов давление снижается до 0,6 – 0,8 МПа, а реально при эксплуатации на многих котлах поддерживается давление 0,1 – 0,3 МПа. Работа паровых котлов в таких режимах отрицательно сказывается на условиях циркуляции: из-за снижения температуры насыщения и увеличения доли парообразования в экранных трубах наблюдается интенсивное накипеобразование и увеличивается вероятность пережога труб. Все это приводит к тому, что КПД этих паровых котлов не превышает 80 – 82%, а в некоторых случаях, когда трубы сильно загрязнены, КПД котла уменьшается до 70 – 75% [6].

С целью продления срока службы выработавших ресурс паровых котлов и дальнейшего их использования в когенерационных энергокомплексах для выработки тепловой и электрической энергии, предлагается перевод котлоагрегатов с парового в водогрейный режим работы (после проведения всесторонней технической экспертизы и оценки возможности их использования в качестве водогрейных). Предлагаемое переоборудование позволит обеспечить оптимальные условия работы паровых котлов, даже выработавших ресурс, еще на длительный период эксплуатации. Несмотря на то, что переоборудование чаще всего бывает вынужденным мероприятием, тем не менее, при правильном подходе к решению поставленной задачи, переведенные в водогрейный режим, паровые котлы в эксплуатации не уступают специализированным водогрейным.

Выполненный анализ [4, 5] показал предпочтительность использования для тепловых потребителей шахт горячей воды. Основными преимуществами воды как теплоносителя являются [1]:

- возможность передачи ее на большие расстояния при небольших потерях теплового потенциала;
- трубопроводы при подаче воды имеют меньший диаметр, а, следовательно, стоимость теплотрассы уменьшается;
- меньшие потери подготовленной воды в замкнутом первичном контуре теплоснабжения;
- отсутствие баков сбора конденсата и конденсатных насосов, а, следовательно, меньшие требования к рельефу промплощадки.

Известны несколько схем перевода котлов в водогрейный режим с различными конструктивными решениями по их реализации. Первоначально были опробованы схемы с естественной циркуляцией, с прямоточным движением воды, а затем с многократной принудительной циркуляцией путем установки в контурах специальных побудителей – струйных насосов. Все эти схемы имеют как положительные, так и отрицательные стороны.

Схема с *естественной циркуляцией* предельно проста по конструкции, однако скорости циркуляции в таких схемах чрезмерно малы, скорости роста внутренних отложений при этом весьма значительны, что приводит к сбору накипи в котле и уменьшению теплоотдачи в системе. Положительным в прямоточной схеме является увеличенная скорость циркуляции воды, способствующая уменьшению образования накипи и образованию шлама, возможность быстро набирать и снижать тепловую мощность, однако в данной схеме имеют место и недостатки, а именно: установка поперечных перегородок в барабанах несколько нарушает схему циркуляции парового режима, необходимость секционирования поверхностей нагрева.

В схеме с *многократной принудительной циркуляцией* при помощи специальных побудителей – струйных насосов, обеспечивается повышение расхода воды, циркулирующей по контурам, который в 2-3 раза и более превышает расход сетевой воды, направляемой в сопла струйных насосов. Обычно струйными насосами задействуются наиболее теплонапряженные «поверхности нагрева», например, экраны и первые ряды конвективных пучков, однако, за счет их действия значительно интенсифицируется циркуляция в остальных, незадействованных трубах пучков, обеспечивая в них при меньшей интенсивности обогрева достаточно надежный температурный режим. При этом не требуется никакого секционирования и установки поперечных перегородок, т.е. сохраняется схема движения потоков воды, характерная для парового режима, обеспечивающая надежность работы как труб, так и барабанов, благодаря мощным продольным токам циркулирующей воды [7].

Реконструкция паровых котлов в водогрейные повышает экономичность установки за счет снижения затрат топлива и электроэнергии на собственные нужды, так как отпадает необходимость в насосах (питательных, подпиточных и химводоочистных), в бойлерной установке, требующей дополнительных эксплуатационных затрат, не требуется непрерывной и периодических продувок, упрощается схема химической водоподготовки ввиду того, что требования к сетевой воде ниже, чем к питательной, улучшаются условия работы обслужива-

ющего котлы технического персонала. Также за счет повышения КПД и теплопроизводительности котельных агрегатов обеспечивается уменьшение потребления топливно-энергетических ресурсов, а упрощение их эксплуатации приводит к уменьшению затрат и экономии материальных ресурсов. Одновременно с этим улучшается состояние окружающей среды за счет уменьшения выбросов вредных веществ (угарного газа и окислов азота) в окружающую среду [8].

Одним из перспективных направлений использования энергии горячей воды, вырабатываемой водогрейными котлами, является создание реактивных гидропаровых турбин (ГПТ) [9–10]. От водогрейного котла шахтной котельной горячая вода с давлением выше давления насыщения подается по оси в ротор, изготовленный по типу сегнера колеса, по окружности которого расположены сопла. В соплах скорость воды увеличивается, давление понижается, вода вскипает. В результате тягу турбины создают две составляющие: традиционная гидравлическая – от истекающей из сопел жидкости и реактивная – от интенсивного ее кипения. Реактивная сила струи, истекающей из сопел, через ротор полезно используется для вращения электрического генератора, размещенного на валу турбины. ГПТ имеет ряд преимуществ, среди которых можно выделить следующие:

- отсутствие рабочих лопаток и, следовательно, проблем обтекания и эрозии при течении пароводяной смеси;
- минимальное число подвижных деталей, что обеспечивает простоту изготовления и обслуживания;
- высокая эффективность осесимметричных сопел как источника реактивного усилия на рабочем колесе.

На основании вышеизложенного сделаны следующие выводы:

1. Для большинства угольных шахт Украины, располагающих действующими шахтными котельными, имеется возможность реализации их энергетического потенциала путем установки в котельной собственных турбогенераторов, тип которых выбирается в зависимости от местных условий. При этом полностью или частично решается задача автономного электрообеспечения данного предприятия, а также возрастает надежность энергоснабжения.

2. В связи с тем, что действующие шахтные котельные преимущественно оборудованы паровыми котлами, отработавшими нормативный срок эксплуатации и из-за физического износа функционирующими при пониженном рабочем давлении и температуре, эффективное их использование совместно с турбоагрегатами целесообразно осуществить путем перевода котлоагрегатов с парового в водогрейный режим работы, с использованием в качестве теплоносителя горячей воды, которая будет использована в энергоблоке с ГПТ для выработки собственной электроэнергии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булат, А.Ф. Научно-технические основы создания шахтных когенерационных энергетических комплексов / А.Ф. Булат, И.Ф. Чемерис. – Киев: Наукова думка, 2006. – 176 с.
2. Булат, А.Ф. Концепция создания теплоэнергетических комплексов на базе нерентабельных угольных шахт в условиях реструктуризации угольной отрасли Украины // Геотехническая механика. Сб. науч. тр. ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск: Системные технологии, ГНПП, 1998. – Вып.2. – С.4-14.

3. Соболев, И.Д. Создание промышленных ТЭЦ малой мощности на базе действующих котельных / И.Д. Соболев // Экологические и ресурсосбережение. – 1996. – №2. – С.3-10.
4. Соколов, Е.Я. Теплофикация и тепловые сети / Учебник для ВУЗов. 5-е изд., перераб. – М.: Энергоиздат, 1982. – 352 с.
5. Шемаханов, М.М. Отопление шахтных стволов. – М.: Государственное научно-техническое издательство литературы по горному делу, 1960. – 204 с.
6. Васильев, А.В. Новая схема перевода паровых котлов типа ДКВР в водогрейный режим работы [Текст] / А.В. Васильев, Г.В. Антропов, Ю.И.Акимов // Новости теплоснабжения. - 2002.- № 11(27).- С. 25 – 28.
7. Акопянц, Б.Е. Перевод промышленных паровых котлов в водогрейный режим работы [Текст] / Б.Е. Акопянц // Новости теплоснабжения. - 2000.- № 2(2).- С. 21 – 23.
8. Глуценко, Л.Ф. Перевод промышленно-отопительных котлов с парового на водогрейный режим [Текст] / Л.Ф. Глуценко, Д.С. Шевцов, Б.В. Кунцевич. - Киев: Будівельник, 1982.- 56 с.
9. Пат. 2184244 Российская Федерация, 7 F01D 17/04. Гидропаровая турбинная установка / О.О. Мильман, В.А. Федоров, Н.А. Брусницын. - № 2000123491/06; Заявл. 11.09.2000; Оpubл. 27.06.2002, Бюл. № 18.
10. Пат. 90232 Украина, F01 D1/00. Реактивная турбина / Булат А.Ф., Чемерис І.Ф. - № а200906198; Заявл. 15.06.09; Оpubл. 12.04.10, Бюл. № 7.

УДК 622.7:741.6:532.5

Д-р техн. наук, профессор В.П. Надутый
канд. физ-мат. наук В.И. Елисеев
канд. техн. наук В.И. Луценко

РАВНОВЕСНОЕ СОСТОЯНИЕ ОСТАТОЧНОЙ МАССЫ ЖИДКОСТИ В КАПИЛЛЯРЕ С ПОДСТИЛАЮЩЕЙ СЕТКОЙ

Проведено чисельні розрахунки залишкової маси рідини в капілярі з підстилаючої сіткою матеріалу, що змочується. Показані граничні випадки існування рівноважного стану системи капіляр-крапля. Отримані рішення обмежені стійкістю краплі, що висить під сіткою. Показано, що об'єм залишкової рідини залежить від крайових кутів змочування і перепаду тиску.

THE EQUILIBRIUM STATE OF RESIDUAL MASS OF LIQUID IN A CAPILLARY WITH MESH MATERIAL ATTACHED TO ITS LOWER END

Numerical calculations of the residual mass of liquid in a capillary with wettable mesh material attached to its lower end have been performed. Boundary cases of equilibrium state of the "capillary-drop" system are shown. The obtained solutions are limited by the stability of drops hanging from the bottom of the mesh material. It is shown that the volume of residual liquid depends on the contact angles and the pressure difference.

Просеивание рудной массы в значительной степени затрудняется ее влажностью, вследствие этого обезвоживание является важной стадией в технологии обработки. Одним из основных вопросов при обезвоживании является определение остаточной массы воды, остающейся в порах рудной массы после вытекания ее под действием сил гравитации. Учитывая, что рудная масса лежит на сетке, под остаточной водой можно понимать всю массу воды, которая находится не только в порах, но и снизу под сеткой. Эта вода располагается под сеткой в виде пленки с какими-то висющими каплями. Для упрощенного моделирования этой картины, представим, как это принято в литературе, поровое пространство пористого материала над сеткой в виде капиллярной трубки.

В работе [1] было показано, что при опускании слоя жидкости в капилляре, вследствие наличия капиллярных сил, в трубке должна оставаться вода. Высота оставшегося слоя определяется геометрическими особенностями трубки, сопротивлением сетки на нижнем конце капилляра, углом смачивания воды. Еще