

СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ЕНЕРГОЄМНИХ ВИРОБНИЦТВ

УДК 662.74-012.3:658.26

Е.Е. МАЛЯРЕНКО¹, канд. техн. наук, **А.И. ТЕСЛЕНКО**², канд. техн. наук

¹Институт общей энергетики НАН Украины, г. Киев, ²ООО "Институт проблем экологии и энергосбережения", г. Киев

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ПОЛНОЙ ЭНЕРГОЕМКОСТИ ПРОДУКЦИИ ДЛЯ АНАЛИЗА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА

В статье представлены результаты анализа эффективности энергоиспользования в коксохимическом производстве с применением методики расчета полной энергоемкости продукции, а также влияния использования вторичных энергетических ресурсов на структуру энергопотребления предприятия.

Ключевые слова: энергетическая эффективность, энергоемкость продукции, полная энергоемкость продукции, вторичные энергоресурсы, модернизация оборудования

Важным направлением повышения энергетической эффективности энергоемкого производства является анализ ее показателей и поиск путей снижения энергопотребления. С этой целью используются такие эффективные методы оценки, как анализ энергетических балансов и КПД отдельных технологических процессов и оборудования; энергоемкости производства продукции, технологического топливного числа технологического процесса [1–2].

На наш взгляд, наиболее наглядным является метод анализа полной энергоемкости, позволяющий исследовать производство как в целом, так и по каждому технологическому подразделению, а по отдельным технологическим переделам, где выявлено неэффективное использование энергоресурсов, проводить более детальное обследование с расчетом балансов потребления топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) и воды, а также производства энергоносителей (сжатого воздуха, инертных газов и т. д.). Этот метод уже активно применяется для анализа эффективности энергоиспользования на металлургических и коксохимических предприятиях, тем более что он дает возможность сравнивать показатели полной и технологической энергоемкости для аналогичных производств как внутри страны, так и за

рубежом (чего не скажешь о показателях удельных расходов отдельных видов энергоресурсов и КПД используемого оборудования, которые зависят от схемы компоновки и требуют сравнения с номинальными показателями данного вида оборудования).

Показатель полной энергоемкости продукции по всей технологической цепочке производства определяет энергетические затраты на единицу производства продукции по всему технологическому циклу. При этом есть возможность отслеживать отдельные составляющие полной энергоемкости, чтобы сравнивать результаты, полученные при различных способах добычи или производства сырья, транспортных перевозок, выпуска конечного продукта на предприятии, уровнях использования вторичных материальных и энергетических ресурсов и т. д.

Анализ энергопотребления посредством такого метода покажем на примере коксохимического комбината, на котором планируется модернизация технологического и энергетического оборудования.

На коксохимическом предприятии (КХП) осуществляется комплексное производство металлургического топлива и химических продуктов, получаемых из коксового газа – побочного продукта производства кокса. Большая часть топлива потребляется коксовым цехом, а

© Е.Е. МАЛЯРЕНКО, А.И. ТЕСЛЕНКО, 2010

электро- и теплоэнергии – химическими цехами. Анализ энергопотребления производства кокса по удельным расходам энергоресурсов, приведенным в форме статистической отчетности 11-МТП завода, не дает возможности осуществить анализ по цехам, поскольку энергозатраты представлены как итоговые по предприятию. Такая же статистика приводится и в ежегодном сборнике Госкомстата, где указан расход топлива только на обогрев коксовых батарей, а потребление тепло- и электроэнергии – суммарно на коксохимическое производство и коксовый цех. С 2007 года в “Статистическом ежегоднике Украины” [3], в разделе “Использование материально-технических и энергетических ресурсов”, удельные расходы энергоресурсов на производство кокса и полукочка из каменного угля представлены только показателями теплоэнергии и электроэнергии, которые не соответствуют показателям фактических энергозатрат в процессе коксования. Данные об удельных расходах топлива вообще отсутствуют. Даже если бы все коксохимические предприятия перешли на обогрев батарей сжигаемым коксовым или доменным газом (или их смесью), то в справочнике следовало бы указать величину его потребления, – в противном случае необходимо уточнять, что данные приведены для коксохимического производства (без процесса коксования).

Руководствуясь общими положениями стандарта ДСТУ 3682-98 (ГОСТ 30583-98) “Полная энергоемкость продукции” [4], мы составили алгоритм расчета полной энергоемкости продукции основных видов коксохимического производства – кокса, каменноугольной смолы, сульфата аммония, бензола, серной кислоты, который использовали при составлении программы, с помощью которой выполняются необходимые расчеты в среде EXCEL.

Изначально определяется энергоемкость поступившего на предприятие угля, а в дальнейшем в качестве сырья будет рассматриваться полупродукт предыдущего процесса. Например, для коксования – шихта, полученная в цехе углеподготовки, для химических продуктов – вещества, содержащиеся в неочищенном коксовом газе.

Анализ полной энергоемкости продукции предприятия целесообразно проводить в динамике за определенный период времени (за несколько лет или за год по кварталам). Сравни-

вая показатели базового года с прогнозируемыми показателями полной энергоемкости продукции после предполагаемой модернизации производства, получают данные, позволяющие определить резервы повышения энергетической эффективности при внедрении более эффективных технологий или нового оборудования. При этом важно анализировать динамику изменения энергоемкости продукции во всех цехах предприятия.

В качестве базового выбирается год с наилучшими производственными показателями при данной технологической схеме. Сравнение показателей энергоемкости производимой продукции для существующей технологии и прогнозной (после предполагаемой модернизации) даст возможность пересмотреть как перспективные объемы потребления ТЭР, так и структуру энергопотребления всего завода, а затем определить направления модернизации энергогенерирующих установок предприятия.

Итак, в коксовом цехе запланировано внедрение ряда технических решений:

- введение новой коксовой батареи, позволяющей в полтора раза увеличить выход коксового газа и, соответственно, объем его продажи сторонним организациям;
- внедрение установки сухого тушения кокса (УСТК) на замену существующей технологии мокрого тушения, благодаря чему можно будет установить на предприятии котлы-утилизаторы для выработки пара, соответствующего планируемыми энергетическим параметрам.

С котлов-утилизаторов и дополнительного парового котла на коксовом газе пар будет передаваться на турбину, что позволит вырабатывать собственную электроэнергию в объеме до 60 % от общего потребления заводом.

На основе рассмотренных балансов топлива, пара и электроэнергии, а также баланса технической воды мы рассчитали полную цеховую и прямую энергоемкость производства всех видов товарной продукции коксохимического комбината. В качестве топлива для коксовых батарей в базовом варианте рассматривается природный газ, в модернизированном – горючие вторичные энергоресурсы комбината (ВЭР), то есть коксовый газ. Результаты расчета представлены ниже.

На рис. 1 показан расчет полной энергоемкости производства шихты по стандарту ДСТУ

3682-98 в двух вариантах: при использовании покупного топлива (природного газа) и горючих ВЭР (коксового газа), энергия которых учтена в составляющей энергоемкости сырья (угля для коксования). В цехе углеподготовки полная энергоемкость шихты несколько снижается при замещении покупного топлива собственными горючими ВЭР.

На рис. 2 представлены соответственно результаты расчета полной энергоемкости производства кокса по стандарту ДСТУ 3682-98 в двух вариантах: с использованием покупного топлива и горючих ВЭР и прямой энергоемкости производства кокса (с применением коксового газа). Очевидно, что за счет увеличения объемов выпуска кокса (роста коэффициента загрузки мощностей) и полной замены покупного топлива собственным горючим вторичным энергоресурсом достигается снижение полной и прямой энергоемкости. В структуре полной энергоемкости производства кокса прямые затраты составляют 68 %, из которых топливо – 70 %.

Методика расчета сквозной энергоемкости химической продукции [5] обязывает разносить общие энергозатраты по технологическим цехам пропорционально доле их потребления от общего количества. В энергоемкости производства каменноугольной смолы 98 % составляют прямые энергозатраты; энергоемкость сырья не учитывалась, поскольку коксохимические продукты получались путем извлечения химических веществ из неочищенного коксового газа. Следует отметить, что при внедрении части запланированных мероприятий в коксовом цехе (увеличение мощности коксовой батареи и, соответственно, выхода коксового газа) за рассматриваемый период относительно базового года возросли удельные расходы тепло- и электроэнергии в коксохимическом производстве в целом. Поскольку предприятие в форме статистической отчетности представляет суммарные удельные расходы энергоресурсов на все коксохимическое производство, то для более детального выявления причин повышения удельных расходов энергоресурсов были рассчитаны энергоемкости производства отдельных видов химической продукции, получаемой из коксового газа: прямая, то есть по удельным расходам энергоресурсов в цехе, и полная по цехам, то есть по удельным расходам энергоресурсов и энергоносителей в цехе. Этот

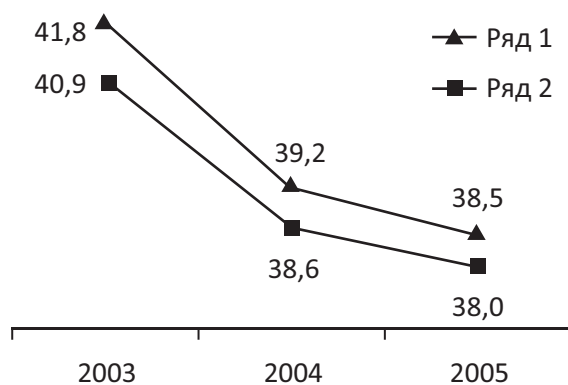


Рис. 1. Полная энергоемкость производства шихты (кг у. т./т): ряд 1 – без учета использования горючих ВЭР; ряд 2 – с учетом использования горючих ВЭР

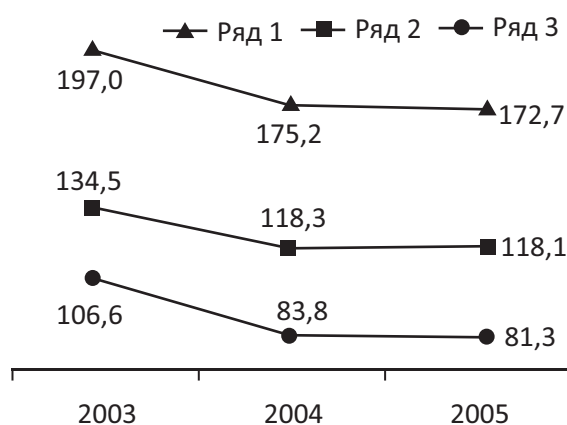


Рис. 2. Энергоемкость производства кокса: ряд 1 – полная, без учета использования горючих ВЭР; ряд 2 – полная, с учетом использованием горючих ВЭР; ряд 3 – прямая энергоемкость (энергоемкость энергоресурсов)

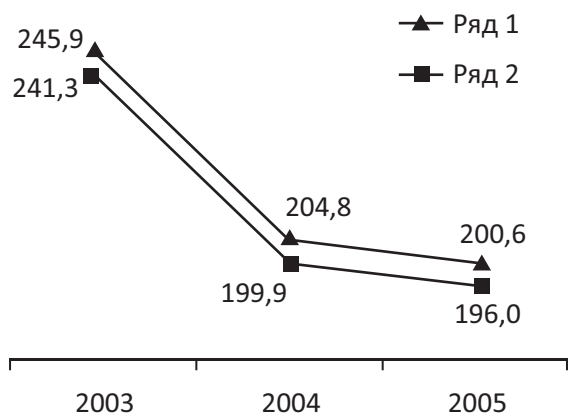


Рис. 3. Энергоемкость производства каменноугольной смолы: ряд 1 – полная энергоемкость; ряд 2 – прямая энергоемкость

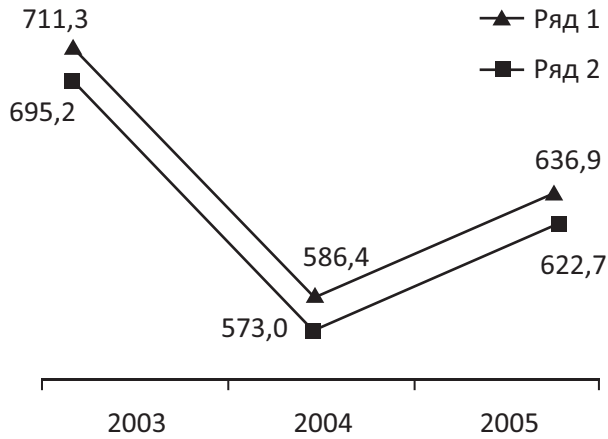


Рис. 4. Энергоемкость производства сульфата аммония: ряд 1 – полная энергоемкость; ряд 2 – прямая энергоемкость

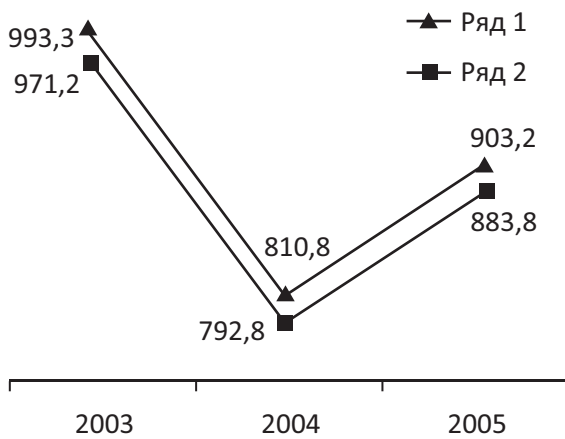


Рис. 5. Энергоемкость производства бензола: ряд 1 – полная энергоемкость; ряд 2 – прямая энергоемкость

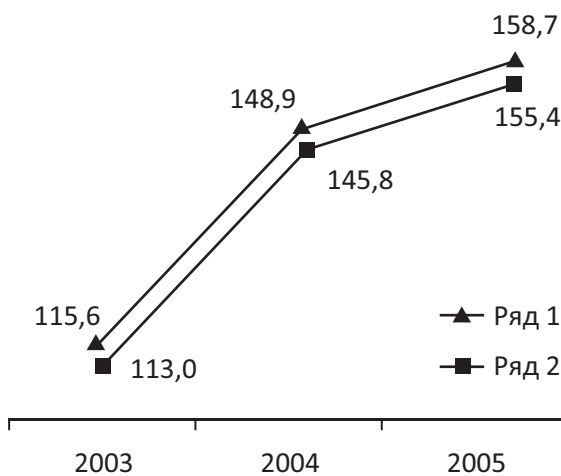


Рис. 6. Энергоемкость производства серной кислоты: ряд 1 – полная энергоемкость; ряд 2 – прямая энергоемкость

анализ позволил определить, для каких цехов необходимо разрабатывать мероприятия по снижению удельных расходов энергоресурсов.

Динамика полной и прямой энергоемкости производства каменноугольной смолы в цехе конденсации за рассматриваемый период приведена на рис. 3. Рост энергоемкости каменноугольной смолы связан с непропорциональным увеличением удельного расхода пара (на 16 %) и электроэнергии (на 36 %) при незначительном увеличении объемов производства (на 3 %), в связи с чем необходимо провести мониторинг энергопотребления в цехе конденсации.

Тенденция снижения полной и прямой энергоемкости производства сульфата аммония относительно базового года позволяет судить о рациональном режиме работы энергетического оборудования сульфатного цеха. За два года величина прямой и полной энергоемкости производства химической продукции снизилась на 19 % за счет повышения объемов производства продукции. Энергоемкость производства сульфата аммония показана на рис. 4.

Показатели полной и прямой энергоемкости производства бензола возросли за последний рассматриваемый год в 1,1 раза, но снизились на 9 % относительно базового года. Такой рост энергопотребления может быть связан с небольшим снижением выпуска продукции в цехе ректификации бензола за последний год. В таком случае желательно провести мониторинг электро- и теплотребления бензолного цеха на протяжении года, чтобы окончательно выяснить причины роста энергоемкости и принять соответствующие решения о рационализации энергопотребления в цехе. Динамика полной и прямой энергоемкости производства бензола представлена на рис. 5.

Показатели полной и прямой энергоемкости производства серной кислоты за последний год возросли на 11 %, но снизились на 10 % относительно показателей базового года, что требует дополнительного исследования режимов работы оборудования данного цеха (рис. 6).

Расчет энергоемкости химической продукции по каждому цеху выявил неэффективное использование энергоресурсов в смолоперегонном цехе и скачкообразные изменения этого показателя в бензолном и сульфатном цехах, что позволило значительно оптимизировать поиск причин нерационального использования энергии в коксохимическом производстве в

Таблица 1

Потребители коксового газа	Базовый вариант (%)	Прогнозный вариант (%)
Обогрев коксовых батарей	45	45
Производство пара в ТСЦ	17	8,5
Другие внутренние потребители	2	2
Продажа сторонним потребителям	36	44,5

целом. Общезаводские нормы удельных расходов тепло- и электроэнергии после модернизации коксового цеха и полной замены покупного топлива горючими ВЭР однозначно должны быть снижены.

Анализ существующей структуры энергопотребления предприятия и планов предполагаемой модернизации позволил определить перспективные структуры потребления топлива, тепло- и электроэнергии на КХП. Был рассмотрен баланс производства и потребления коксового газа на предприятии. Выход его в базовом году на 1 т сухой шихты составил 340–360 м³. Из общего количества произведенного в базовом году коксового газа на собственные нужды завода было использовано 65 %, в том числе на обогрев коксовых батарей – 45 %, на производство пара в ТСЦ – 17 %, другими внутренними потребителями – 2 %, в частности, 1,2 % – химическими цехами, 0,4 % – гаражами размораживания угля.

Распределение коксового газа по потребителям на предприятии в базовом году и после планируемой модернизации систем тепло- и электроснабжения представлено в табл. 1.

Очевидно, что внедрение котла-утилизатора в комплексе с УСТК позволит снизить затраты коксового газа как горючего ВЭР, то есть топлива для получения пара, и при этом повысить использование тепловых ВЭР за счет использования физической теплоты коксового газа при его охлаждении в УСТК. За счет снятой теплоты можно вырабатывать пар в котле-утилизаторе и, соответственно, увеличить продажу коксового газа сторонним потребителям, увеличив прибыль предприятия. Отметим, что теплоснабжение предприятия в базовом варианте осуществляется от теплосилового цеха (ТСЦ), который имеет котлы, работающие на коксовом газе с калорийностью 4000 Ккал/м³. Энергетический пар дросселируется в РОУ до

$P = 0,6$ МПа и $t = 225$ °С, что позволит реализовать вариант производства электроэнергии за счет использования ВЭР избыточного давления (в паровых турбинах с противодавлением). Также пар производится в двух энерготехнологических установках за счет использования тепловых вторичных энергоресурсов. Фактическое ежегодное производство пара за счет ВЭР составляет около 4 % от общего производства пара на предприятии. После внедрения на новой коксовой батарее УСТК будут смонтированы котлы-утилизаторы для выработки энергетического пара и дополнительный паровой котел, работающий на коксовом газе. В итоге доля выработки пара за счет ВЭР возрастет до 52 %.

Электроснабжение КХП осуществляется от собственных паровых турбин с противодавлением (17 %) и сторонних источников электроснабжения (83 %). После установки паровых турбин с противодавлением и реконструкции паровых котлов на предприятии будет создан энергетический комплекс. В настоящее время собственная ежегодная выработка электроэнергии составляет около 17 % от общего потребления электроэнергии заводом, а после установки котлов-утилизаторов, использующих теплоту охлаждаемого в УСТК коксового газа, и дополнительного парового котла с турбиной повысится до 60 %.

Итак, снижение энергоемкости производства кокса в результате внедрения УСТК достигнет 55–60 % – за счет полного замещения топлива горючими ВЭР и замещения пара вторичными тепловыми ВЭР. Кроме того, изменится способ тушения кокса (энергетические затраты на воду при мокром тушении составляли 82,3 кг у. т./т кокса, или 35 % от общей энергоемкости производства кокса) [7]. Более эффективное использование энергетического потенциала ВЭР даст возможность

предприятию значительно экономить на покупке энергоносителей.

ВЫВОДЫ

Внедрение установки сухого тушения кокса позволит рационализировать балансы пара и электроэнергии завода со значительным увеличением доли собственного производства электроэнергии и увеличением производства пара за счет полного использования потенциала тепловых ВЭР. На предприятии необходимо обратить внимание на коэффициент загрузки оборудования химических цехов, поскольку снижение этого показателя может быть причиной повышения удельных расходов тепло- и электроэнергии в коксохимическом производстве.

1. *Складання та аналіз паливно-енергетичних балансів підприємства / Г. О. Куц, А. П. Усік, Є. Є. Нікітін, Л. О. Літинська // Стратегія енергозбереження в Україні: аналіз-довід. мат. у 2-х томах: механізми реалізації політики енергозбереження / За ред. В. А. Жовтянського, М. М. Кулика, Б. С. Стогнія. – К.: Академперіодика, 2006. – Т. 2. – С. 64–69.*
2. *Номенклатура показників енергоефективності та порядок їхнього внесення у нормативну документацію: ДСТУ 3755-98. [Чинний від 1999-07-*

01]. – К.: Держспоживстандарт України, 1998. – 13 с. (Національні стандарти України).

3. *Статистичний щорічник України за 2007 рік / Держкомстат України. За ред. Осауленка О. Г. – К.: Консультант, 2007. – 572 с.*
4. *Методика визначення повної енергоемності продукції, робіт та послуг: ДСТУ 3682-98 (ГОСТ 30583-98). [Чинний від 1999-06-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 1998. – 11 с. (Національні стандарти України).*
5. *Гнідой М. В. Метод розрахунку повних енергетичних витрат на виробництво продукції / Гнідой М. В., Куц Г. О., Терещук Д. А. // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 1997. – № 5. – С. 67–72.*
6. *Методика розрахунку витрат паливно-енергетичних ресурсів на хімічних підприємствах з використанням заводської (наскрізної) енергоемності / Затверджено Держкоменергозбереження та Мінпромполітики, 05.07.00 № 51/166.*
7. *Білодід В. Д. Показники енергетичної ефективності для оцінки інновацій у промислових технологіях / Білодід В. Д., Малярєнко О. Є., Станиціна В. В. // Проблеми розвитку енергетики. Погляд громадськості. – 2009. – № 6. – С. 257–260.*

Надійшла до редколегії: 07.09.2010