

единений целесообразно использовать для участковых конвейеров, а также при экстренной стыковке на магистральных конвейерных линиях.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Е.М. Высочин, Е.Х. Завгородний, В.И. Заренков Стыковка и ремонт конвейерных лент на предприятиях черной металлургии.-М.: Металлургия, 1989.-192 с.
2. Транспорт на горных предприятиях. 3-е изд. Днепропетровск, НГУ, 2005.-636 с.
3. Работнов Ю.Н. Механика деформируемого тела.-М.: Наука, 1979.-744 с.
4. Определение упруго-вязких свойств конвейерных лент. Л.И. Чугреев, Н.В. Ампилогова. МГИ.

**УДК 662.65/654.001.57**

Инж. О.И. Ананьева,  
инж. С.П. Сердюкова  
(ИГТМ НАН Украины)

### **РАЗРАБОТКА ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕСТНОГО ТОПЛИВА И ОТХОДОВ ТЕХНОГЕННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ**

Запропоновано економіко-математичну модель будівництва паливно-енергетичного комплексу (ПЕК) на базі шахт. Застосування розробленої моделі дає можливість визначити ефективність будівництва ПЕК з метою зменшення витрат та збільшення прибутку шахт.

### **DEVELOPMENT OF ECONOMIC-MATHEMATICAL MODEL OF POWER SUPPLY SYSTEMS WITH USE OF LOCAL FUEL AND TECHNOGEN WASTES**

The economic-mathematical model of construction of power-generating complex (PGC) on the basis of mines is offered. Employment of this model will enable to determine efficiency of construction of PGC with the purpose of decrease of expenses and increase of profit of mines.

С 70-х гг. сложность и стоимость добычи угля и газа в Украине стали резко увеличиваться в связи с истощением или значительным сокращением их запасов в легкодоступных месторождениях.

В статье выполнен анализ опыта реализации проектов по привлечению в топливный баланс регионов местного низкокалорийного топлива путем создания новых или реконструкции существующих систем энергоснабжения. Соответствующее развитие собственной топливной базы регионов позволит решить ряд острых социальных проблем, стоящих перед регионами Украины.

Во исполнение Указа Президента Украины "Про невідкладні заходи щодо забезпечення України енергоносіями та їх раціонального використання в Україні" (Постанова КМ України №285 від 2.04.97 р.) впервые разработана и соответствующим постановлением Кабинета Министров Украины одобрена Программа государственной поддержки развития нетрадиционных и возобновляемых источников энергии и малой гидро- и теплоэнергетики, которой были определены направления увеличения объемов привлечения к теплоэнергетиче-

ской базе Украины нетрадиционных и возобновляемых источников энергии и характерных для каждого региона альтернативных видов топлива. Целью Программы является также создание и обеспечение необходимых условий для разработки и внедрения эффективных технологий и оборудования для использования нетрадиционных и возобновляемых источников энергоресурсов.

В настоящее время за счет внедрения мероприятий с использованием нетрадиционной энергетики и альтернативных видов топлива, которые предусмотрены Программой и осуществляются в большинстве областей Украины, за период 1997-2002 гг. добыто и замещено традиционных энергоносителей около 44,0 млн. т у.т. (в 2000 году этот показатель достиг уровня 9,8 млн. т у.т., в 2001 году - 10,8 млн. т у.т., в 2002 году - 9,4 млн. т у.т.), из которых 95 % получено за счет производства и потребления искусственных горючих газов и использования вторичных энергоресурсов, которые возникают в металлургической и химической промышленности.

Стратегическое задание Программы заключается в достижении до 2010 года экономии традиционных топливно-энергетических ресурсов за счет использования нетрадиционных источников энергии и альтернативных видов топлива в объеме 8-10 % общего потребления энергоресурсов в Украине.

В Донецкой, Днепропетровской, Луганской и Запорожской областях промышленность получает энергосодержащие отходы в виде искусственных газов, что определяет возможность наращивать объемы использования искусственного коксового, ферросплавного и доменного газов, а также метана угольных месторождений, количество которого, по прогнозам, составляет 12 трлн. м<sup>3</sup>. [1, 2]

Дальнейшее развитие использования нетрадиционной энергетики и альтернативного топлива, которые могут в малые сроки принести общественному производству Украины значительный экономический эффект, должно осуществляться в таких направлениях, как внедрение комбинированного производства тепловой и электрической энергии (когенерацию) на действующих объектах электроэнергетики, на котельных установках и промышленных печах, котельных коммунальной сферы, а также на газотурбинных установках, газоперекачивающих агрегатах. [1, 2].

Разрабатываем и исследуем экономико-математическую модель функционирования систем местного энергоснабжения с использованием энергосберегающих технологий, чтобы добиться минимальных экономических затрат и максимальной прибыли предприятия. В качестве предприятия, располагающего первичным энергоресурсом, принимаем угольную шахту. Для ее функционирования необходимы электрическая и тепловая энергии.

При диверсификации деятельности шахт в направлении реструктуризации угольной отрасли предполагается адаптированная к реальным условиям концепция "Малой энергетики", главная идея которой состоит в том, чтобы углубить переработку угля и использовать в качестве топлива местное сырье. Для углубленной переработки угля предлагается создать на базе шахт малые теплоэнергетические комплексы (МТЭК), которые сориентированы на комбинированное производство тепла и электроэнергии с использованием технологии сжигания

угля в циркулирующем кипящем слое (ЦКС). С помощью этой технологии можно сжигать низкокалорийный уголь и отходы углеобогащения, которых сегодня масса накоплено в угледобывающих регионах [3].

В существующей системе энергоснабжения электрическая энергия покупается, а тепловая вырабатывается котельной шахты. При этом как внешняя электросистема, так и внутренняя теплосистема работают на первичном энергоресурсе - угле. Очевидно, с технических, экономических, социальных и экологических позиций целесообразна организация малых теплоэнергетических комплексов.

Сущность предлагаемой идеи децентрализации системы в отношении обеспечения энергией первичного предприятия состоит в том, что необходимое количество электричества и теплоты шахта производит на собственном объекте - малом теплоэнергетическом комплексе, работающем как мини ТЭЦ, и тем самым за счет теплоэнергетической самообеспеченности будет иметь возможность превратиться в прибыльное и рентабельное предприятие. Также обеспечить других потребителей электричеством и теплотой, которые вырабатываются в режиме комбинированного энергопроизводства там, где добывается уголь. Такого рода организация энергоснабжения требует оптимизации процесса по экономическим и экологическим параметрам.

Прежде чем разрабатывать структуру модели малого теплоэнергетического комплекса, следует ответить на некоторые вопросы:

- каких потребителей должен обеспечивать МТЭК?
- где лучше расположить МТЭК от потребителей и шахты?
- каковы оптимальные параметры МТЭК?
- как реструктуризация энергоснабжения шахты повлияет на сферы экономические, экологические, социальные и т.д.?

Следующий этап исследований включает разработку сценария функционирования объекта и концептуальной экономико-математической модели. Для этого ограничимся двумя потребителями  $\Pi_1$  и  $\Pi_2$  (рис. 1), у которых разные потребительские мощности энергоресурсов, одним из потребителей является сама шахта (Ш).

Шахта и обогатительная фабрика (ОФ) выступают поставщиками местных ресурсов, а именно: угля  $q_1$  от шахты и шламоотходов  $q_2$  из шламохранилища обогатительной фабрики, для теплоэнергетического комплекса (ТЭК), который в свою очередь вырабатывает из энергоресурса  $Q$  готовую продукцию (ГП<sub>1</sub>, ГП<sub>2</sub>, ГП<sub>3</sub>): теплоэнергию и электроэнергию, для энергопотребителей  $\Pi_1$ ,  $\Pi_2$ , Ш.

Для определения оптимального расположения теплоэнергетического комплекса между потребителями и поставщиками сырья немаловажную роль играет их расстояние в виде принятых обозначений  $L_1, L_2, L_3, L_4$ .

Для начала опишем энергопотребителей. Потребителями могут выступать любые организации, предприятия, в том числе шахты, государственные учреждения, детские садики, жилой комплекс, то есть любой объект, которому необходима готовая продукция от теплоэнергетического комплекса в виде тепло-

энергии и/или электроэнергии. На основании выполненных исследований, все эти энергопотребители не должны превышать 5 км от теплоэнергетического комплекса, так как от этого зависит качество подачи тепла потребителям.

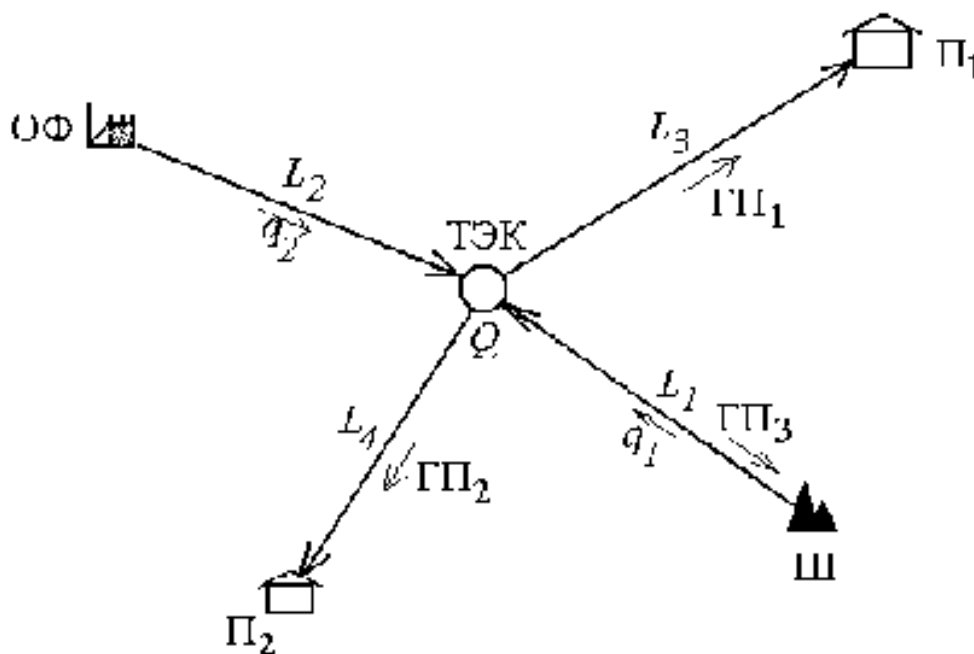


Рис. 1 – Концептуальная экономико-математическая модель ТЭК

Каждый потребитель нуждается в каком-то количестве теплоэнергии  $u$  и каком-то количестве электроэнергии  $w$ . В зависимости от того, сколько потребителей, и какой объем готовой продукции им нужен, определяется мощность теплоэнергетического комплекса. Представим мощность ТЭК в виде уравнения:

$$\sum M_{ТЭК} = M_1 + M_2 + M_3 + \dots + M_n, \quad (1)$$

где  $\sum M_{ТЭК}$  - общее энергопроизводство теплоэнергетического комплекса;  $M_1, M_2, M_3, M_n$  - энергопотребление потребителей, где  $n$  их количество.

Для работы теплоэнергетического комплекса, важно, чтоб выполнялось следующее условие:

$$M_{ТЭК \min} \leq \sum M_{un} \leq M_{ТЭК \max}, \quad (2)$$

где  $M_{ТЭК \min}, M_{ТЭК \max}$  - рабочая минимальная и максимальная мощности теплоэнергетического комплекса;  $\sum M_{un}$  - суммарная мощность теплоэнергии  $n$ -го потребителя.

Общее энергопроизводство ТЭК для каждого вида продукции с учетом тарифов для ТЭК и потребителей, имеет такой вид:

$$\sum M_{uTTЭ} \times T_{uTTЭ} + \sum M_{wTTЭ} \times T_{wTTЭ} = \sum^n M_{un} \times T_u \times k_u + \sum^n M_{wn} \times T_w \times k_w, \quad (3)$$

где  $\sum M_{nTTЭ}$  - общая мощность теплоэнергии ТЭК;  $\sum M_{wTTЭ}$  - общая мощность электроэнергии ТЭК;  $T_{uTTЭ}$  - тариф на теплоэнергию для ТЭК;  $T_{wTTЭ}$  - тариф на электроэнергию для ТЭК;  $\sum M_{un}$  - суммарная мощность теплоэнергии  $n$ -х потребителей;  $\sum M_{wn}$  - суммарная мощность электроэнергии  $n$ -х потребителей;  $T_u$  - тариф на теплоэнергию для потребителя;  $T_w$  - тариф на электроэнергию для потребителя;  $k_u$  - коэффициент потерь при доставке теплоэнергии от ТЭК к потребителю;  $k_w$  - коэффициент потерь при доставке электроэнергии от ТЭК к потребителю.

Имея потребителей и зная их тепловые и электрические нагрузки, выбирается шахта, которая будет снабжать ТЭК углем. Шахта выбирается с учетом выполнения следующих условий:

- годовой добычи угля  $D_{год}$  на шахте должно хватать для обеспечения модуля сырьем  $q_1$ , то есть при условии:

$$D_{год} \geq q_1, \quad (4)$$

- качество угля должно удовлетворять требованиям технологии сжигания ТЭК, то есть это низкосортный небогатенный уголь при таких ограничениях:

$$A \leq A_{max}, \quad (5)$$

$$H \leq H_{max}, \quad (6)$$

где  $A$  - зольность угля, и ее максимальная зольность  $A_{max}$  не превышает 60%,  $H$  - теплота сгорания, и ее максимальный показатель  $H_{max}$  равен 2500 ккал/кг [4].

В случае если энергопотребители и шахта удовлетворяют ограничениям (2), (4), (5), (6), которые были перечислены выше, перейдем к рассмотрению стоимостных показателей, которые характеризуют работу ТЭК, его энергопотребителей и поставщиков сырья.

Поставим цель минимизировать общие затраты на ТЭК ( $Z_{общ} \rightarrow \min$ ), а именно: стоимость доставки угля ишламоотходов к ТЭК, другие затраты ТЭК для комбинированного производства продукции, стоимость доставки готовой продукции потребителям с учетом потерь.

Так как теплоэнергетический комплекс не является самостоятельным объектом и находится в прямой зависимости от шахты, то стоимость угля добываемого шахтой для ТЭК будет равна его себестоимости, а стоимость шламоотходов от переработки угля будет равна нулю.

Известно, что механизм образования тарифов железнодорожных перевозок

сложен, тарифы зависят от их объемов, цен и т. д. Транспортные издержки учитывают расширение существующей системы (к примеру, затраты на приобретение новых вагонов, ремонт и строительство железнодорожных дорог, др.), поэтому расходы на перевозку будем считать постоянными, а тарифы на перевозку будут прямопропорциональны расстоянию их транспортировки. Исходя из отмеченного, сформируем целевую функцию для поиска минимальных затрат ТЭК:

$$\min f(q_1, q_2, x, y) = \sum C_1 q_1 + \sum (P_1 x + T_1 L_1 q_1) + \sum (P_2 y + T_2 L_2 q_2) + \sum Z_{np} + \sum Z_{kan} + \sum [P_u + \sum (M_{un} T_u k_{un} L_n) + P_w + \sum (M_{wn} T_w k_{wn} L_n)] \quad (7)$$

где  $q_1$  - масса транспортируемого из шахты угля на ТЭК;  $q_2$  - масса транспортируемого из ОФ шламоотходов на ТЭК;  $x, y$  - переменные;  $C_1$  - стоимость добычи 1 т угля;  $P_1$  - постоянные расходы на перевозку угля с шахты на ТЭК;  $P_2$  - постоянные расходы на транспортировку шламоотходов из ОФ на ТЭК;  $P_u, P_w$  - затраты на передачу тепло- и электроэнергии от ТЭК до потребителей;  $Z_{np}$  - производственные затраты ТЭК;  $Z_{kan}$  - капитальные затраты ТЭК;  $T_1$  - транспортный тариф на перевозку 1 т угля до ТЭК;  $T_2$  - транспортный тариф на перевозку 1 т шламоотходов до ТЭК;  $T_u, T_w$  - тарифы для потребителей на тепло- и электроэнергию соответственно;  $L_1, L_2$  - расстояние транспортировки энергоносителей от шахты и ОФ до ТЭК соответственно;  $L_n$  - расстояние доставки энергии до n-го потребителя;  $M_{un}, M_{wn}$  - мощность тепло- и электроэнергии n-го потребителя соответственно;  $k_{un}$  - коэффициент потерь при доставке теплоэнергии до n-го потребителя;  $k_{wn}$  - коэффициент потерь при доставке электроэнергии до n-го потребителя.

По требованиям эксплуатации ТЭК, должны выполняться условия для подачи энергоносителя в технологию сжигания угля ЦКС. Так как в ЦКС подаются уголь и шламоотходы, то их процентное соотношение должно быть в таком виде: 36 % - угля и 64 % - шламоотходов. Запишем это выражение в виде следующего уравнения:

$$Q = q_1 + q_2, \quad (8)$$

где  $Q$  - масса сжигаемой смеси в ЦКС;  $q_1$  - масса угля для ТЭК;  $q_2$  - масса твердых шламоотходов для ТЭК.

Запишем уравнение (8) в процентном выражении:

$$Q = 0,36q_1 + 0,64q_2, \quad (9)$$

Исходя из функции (7) и учитывая формулу (9) затраты на транспортировку энергоресурсов ( $Z_{\text{трэ}}$ ) для производства ТЭК составят:

$$Z_{\text{трэ}} = \sum (P_1 + (0,36q_1 L_1 T_1)) + \sum (P_2 + (0,64q_2 L_2 T_2)), \quad (10)$$

Таким образом, задача допускает формулировку ограничений в виде равенств, которые и определяют общее число переменных. В конечном итоге решение целевой функции (7) позволит определить минимальные затраты, благодаря чему шахта сможет увеличить свою прибыль.

В Украине топливно-энергетический баланс составляет: высокозольный уголь, отходы углеобогащения и шахтного метана; природный торф и деревоотходы; биомасса отходов сельского хозяйства, газа и нефти малодебитных скважин. Данную модель можно применить также для любого местного топлива и отходов техногенного происхождения, учитывая специфику предприятия, на базе которого будет строиться малый теплоэнергетический комплекс.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булат А. Ф. Концепция создания теплоэнергетических комплексов на базе нерентабельных шахт в условиях реструктуризации угольной отрасли Украины // Геотехническая механика: Сб. науч. трудов ИГТМ НАН Украины. -Днепропетровск: Системные технологии, ГНПП, 1998. -Вып. № 2. - С. 4-14.
2. Чемерис И. Ф. Технично-економические аспекты работы шахтных энергетических комплексов // Геотехническая механика: Сб. науч. трудов ИГТМ НАН Украины. - Днепропетровск: Полиграфист, 1999. - Вып. № 15. - С. 55-61.
3. Булат А. Ф., Перепелица В. Г., Чемерис И. Ф. Диверсифікація діяльності шахт у напрямку реструктуризації вугільної галузі // Уголь України, 2001.- № 1.
4. Булат А. Ф., Перепелица В. Г., Чемерис И. Ф. Создание экологически чистых и высокоэффективных энергокомплексов на базе нерентабельных шахт // Доповіді національної академії наук України. - 2001. - №1.