

**Розен В.П.**, канд. техн. наук, **Соловей А.И.**, канд. техн. наук, **Чернявский А.В.**, инженер, Нац. техн. ун-т Украины «КПИ», Ин-т энергосбережения и энергоменеджмента, Киев

## **РАЗРАБОТКА СРЕДСТВ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО АУДИТА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

**Введение.** На сегодняшний день в связи с нарастающим дефицитом топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) на Украине разработка направлений и реализация политики энергосбережения имеют особую важность. Если для таких высокоразвитых стран как США, Германия, Дания, Голландия, Япония и др. энергосбережение является вопросом экономической и экологической целесообразности, то для Украины – выживанием, так как до настоящего времени сбалансированность платежеспособности потребления ТЭР не достигнута. Одним из основных направлений развития сектора энергопотребления Украины в современных условиях, которое реально позволит снизить темпы потребления ТЭР, является энергосбережение [1]. Энергосбережение приобретает такое значение, что может рассматриваться как дополнительный источник энергии [2]. Энергосбережения может достигаться, прежде всего, за счет [1]:

- разработки и использования нового, более экономичного энергопотребляющего оборудования, внедрения менее энергоемких технологий, применения средств автоматики и контроля и т.д.;
- снижения потерь ТЭР на стадии потребления (рабочие машины, механизмы и др.), а также при передаче и хранении ТЭР;
- внедрения беззатратных и малозатратных организационно-экономических энергосберегающих мероприятий (ЭСМ).

В первую очередь должны быть использованы текущие резервы, т.е. должны внедряться мероприятия по снижению потерь ТЭР, а также организационно-экономические ЭСМ.

**Постановка задачи.** При разработке программы энергосбережения промышленного предприятия (ПП) осуществляется оценка результатов его деятельности в сфере энергосбережения. Результаты деятельности предприятия в сфере энергосбережения в настоящее время оцениваются, главным образом, по финансовым показателям, а также частным показателям энергоэффективности. При этом не проводится оценка имеющегося потенциала энергосбережения и степени его использования, которая позволяет выделить сильные и слабые стороны в деятельности предприятия в сфере энергосбережения и разработать организационные и технические ЭСМ. Проблема оценки величины потенциала энергосбережения весьма важна как в теоретическом, так и практическом плане. Знание величины потенциала энергосбережения промышленного предприятия (ПЭПП)

необходимо для выявления затрат, требующихся для повышения эффективности использования ТЭР, определения направлений инвестиционной политики в энергосбережении.

Для определения величины ПЭПП необходима информация, характеризующая [3]:

- входные и выходные параметры, отображающие объем, состав, свойства взаимодействия и направления материально-энергетических потоков;
- технические или конструктивно-компоновочные параметры и схемы взаимодействия отдельных элементов, узлов, агрегатов и подсистем энергохозяйства объекта;
- организационные условия функционирования элементов и системы энергохозяйства в рамках рассматриваемого объекта;
- режимно-технологические параметры отдельных процессов, происходящих в энергохозяйстве;
- технико-экономические параметры, отражающие результаты энергохозяйственной деятельности на разных уровнях иерархической структуры управления рассматриваемого объекта.

Однако, в настоящее время эта информация рассеяна по многочисленным производственным подразделениям и функциональным отделам, находится в различных официальных и неофициальных документах, а часть информации вообще отсутствует по различным причинам. Следовательно, для повышения эффективности использования энергоресурсов (ЭИЭР) необходимо принять специальные меры по созданию информационного обеспечения задач управления процессом повышения ЭИЭР. К числу таких мер может быть отнесено энергетическое обследование энергохозяйства ПП. В настоящее время вопросам организации и проведения энергетического обследования (аудита) посвящен ряд нормативно-правовых [4, 5] и методических документов [6...8], а также научно-практических работ [9...15].

Процесс проведения энергетического аудита (ЭА) предлагается разбить на шесть этапов [6, 12]: преддоговорный; организационно-подготовительный; сбор информации; обработка и анализ информации; составление отчета; презентация результатов.

На данный момент из всех этапов наиболее неразработанным являются этапы сбора, обработки и анализа информации, несмотря на особую их важность. Если организационные вопросы ЭА (подписание договора, проведение измерений, разработка ЭСМ, составление отчета) освещаются в некоторых нормативно-правовых [4, 5] и методических документах [6-8], а также научно-практических работах [9...15], то вопросы сбора, обработки и, особенно, анализа информации об объекте ЭА освещены достаточно фрагментарно или не рассмотрены вовсе.

В связи с этим в данной работе предлагается акцентировать внимание именно на вопросах сбора, обработки и анализа информации об объекте ЭА.

**Основная часть.** Вопрос сбора информации об объекте ЭА, особенно при ограничениях по капитальным вложениям, техническим средствам и трудовым затратам, имеет важное значение при решении задач, связанных с повышением ЭИЭР. В связи с этим для проведения эффективного сбора информации об объекте ЭА предлагается произвести декомпозицию объекта ЭА на отдельные элементы. Под элементом будем понимать подсистему или устройство, на вход которого поступают, а на выходе образуются соответственно сырьевые, энергетические и продуктовые потоки. В качестве элемента могут быть приняты установка, агрегат или группа однородных установок, агрегатов, относящихся к основной технологической схеме производства, а также любые вспомогательные процессы и установки (система вентиляции, система отопления, воздухоразделительная станция и т.п.).

Исходное множество элементов может быть сформировано различными путями. Первоначальное множество элементов может быть образовано на основе составленных синтетических энергобалансов предприятия по видам используемых энергоносителей, по целевому назначению потребления, по объектам [15]. Предлагается формировать исходное множество элементов по следующим группам [6, 11]: а) система электроснабжения; б) система теплоснабжения; в) система снабжения сжатым воздухом и холодом; г) система отопления, вентиляции и кондиционирования; д) система водоснабжения и канализации; е) система искусственного освещения; ж) здания и сооружения; з) системы учета и контроля энергопотребления и прочее. Для формирования исходного множества элементов используются как знания и опыт персонала ПП, так и различная документальная информация. Сюда можно отнести: а) проектная документация на энергохозяйство ПП; б) энергетический паспорт ПП; в) финансово-экономические показатели ПП; г) формы государственной статистической отчетности\* (1-ТЕП «Звіт про постачання теплоенергії», 4-МТП «Звіт про залишки і використання палива та пально-мастильних матеріалів», 6-ТП «Звіт про роботу теплової електростанції», 11-МТП «Звіт про результати використання палива, теплоенергії та електроенергії», 23-М «Баланс виробництва та розподілу електричної енергії» и др.), а также отчетная документация по коммерческому и техническому учету расхода ТЭР; д) графики потребления ТЭР (за сутки, месяц, год); е) эксплуатационная документация на энергопотребляющее оборудование (паспорта, формуляры, спецификации, технологические регламенты, режимные карты и т.п.); ж) документация по проведенным ремонтным, наладочным и испытательным работам энергопотребляющего оборудования; з) годовые программы энергосбережения (планы организационно-технических

---

\* Названия форм государственной статистической отчетности приведены на языке оригинала (украинском).

мероприятий по экономии ТЭР) и отчеты по их выполнению; и) отчеты по предыдущим ЭА; к) перспективные программы и проекты реструктуризации ПП или модернизации отдельных его подразделений; л) результаты опроса и анкетирования руководства и персонала ПП.

Когда образовано исходное множество элементов, возникает очень важная задача установления очередности обследования этих элементов в зависимости от поставленных конкретных задач. В существующих методиках [8, 15] предлагается в первую очередь проводить обследование энергоемких установок, суммарное энергопотребление которых составляет 70...80% общего энергопотребления ПП. Очередность обследования устанавливается исходя из энергоемкости элемента (определяется наиболее энергоемкий объект, в нем — наиболее энергоемкий участок, в котором находится наиболее энергоемкая установка). Однако принадлежность установки к энергоемкой далеко не всегда является достаточным условием того, чтобы данный элемент был предметом обследования в первую очередь (раньше других элементов, менее энергоемких) [15].

Сегодня решение задачи выбора приоритетности обследования, в основном, заключается в указании наиболее предпочтительного элемента, но не в упорядочении всех элементов по степени предпочтения. Поэтому, для решения этой задачи, можно использовать метод анализа иерархий, алгоритм которого довольно подробно рассмотрен в [16].

В случае наличия ресурсных (финансовых, материально-технических, временных) ограничений задача формирования набора первоочередных объектов ЭА может быть сформулирована следующим образом.

Пусть ПП состоит из  $m$  энергопотребляющих объектов. Каждый энергопотребляющий объект характеризуется значением годового энергопотребления  $e_i$  (т у.т.). Известно, что для проведения ЭА на данном объекте необходимо наличие финансовых  $s_i$ , материально-технических  $r_i$ , а также временных  $t_i$  ресурсов. В связи с ограниченностью имеющихся в наличии на ПП финансовых  $S_0$ , материально-технических  $R_0$ , а также временных  $T_0$  ресурсов невозможно одновременное проведение ЭА на всех  $m$  энергопотребляющих объектах. В этих условиях специалисту (эксперту, энергоаудитору, энергоменеджеру) необходимо сформировать такой набор энергопотребляющих объектов  $x_i \in \{0,1\}$ , включаемых в план проведения ЭА (принимают значение «1» в случае, когда  $i$ -ый объект включен в план проведения ЭА, и «0» - в противном случае), чтобы получить максимальную величину годового энергопотребления  $Z$ .

В формальной математической постановке задача формирования набора первоочередных объектов ЭА может быть представлена следующей математической моделью:

целевая функция

$$Z = f(x_i) = \sum_{i=1}^m e_i \cdot x_i \rightarrow \max, \quad (i = \overline{1, m}); \quad (1)$$

ограничения на финансовые ресурсы

$$\varphi_1(x_i) = \sum_{i=1}^m s_i \cdot x_i \leq S_0; \quad (2)$$

ограничения на материально-технические ресурсы

$$\varphi_2(x_i) = \sum_{i=1}^m r_i \cdot x_i \leq R_0; \quad (3)$$

ограничения на временные ресурсы

$$\varphi_3(x_i) = \sum_{i=1}^m t_i \cdot x_i \leq T_0; \quad (4)$$

ограничения на переменные

$$x_i \in \{0, 1\}; \quad (5)$$

ограничения на коэффициенты

$$0 \leq s_i \leq S_0, \quad 0 \leq t_i \leq T_0, \quad 0 \leq r_i \leq R_0, \quad (6)$$

где  $Z$  - целевая функция, определяющая величину годового энергопотребления энергопотребляющими объектами, включенными в план проведения ЭА;  $e_i$  - величина годового энергопотребления  $i$ -го энергопотребляющего объекта;  $s_i$  - затраты финансовых ресурсов на проведение ЭА на  $i$ -м энергопотребляющем объекте;  $r_i$  - затраты материально-технических ресурсов на проведение ЭА на  $i$ -м энергопотребляющем объекте;  $t_i$  - временные затраты на проведение ЭА на  $i$ -м энергопотребляющем объекте.

Задача формирования набора первоочередных объектов ЭА заключается в отыскании неизвестных  $x_i$  ( $i = \overline{1, m}$ ), таких, чтобы значение целевой функции (1) было максимальным при выполнении ограничений (2)...(6).

Описанная модель относится к классу задач нелинейного программирования с переменными, часть которых является булевыми. Решение данной задачи можно осуществить с помощью метода случайного поиска, подробно рассмотренного в [21].

После проведения сбора необходимой информации об объекте ЭА необходимо провести ее обработку и анализ. Анализ информации об объекте ЭА должен проводиться в последовательности, которая отвечает логике решения поставленной задачи. Анализ должен проводиться по таким направлениям:

- анализ фактических норм удельного потребления энергоресурсов;
- определение и анализ основных энерго-экономических показателей ПП;
- определение и анализ величины потенциала энергосбережения;
- анализ факторов, которые влияют на ЭИЭР;

- анализ динамики и достигнутого уровня ЭИЭР;
- анализ вариантов обеспечения предприятия энергоресурсами с учетом финансовых, энергетических и экологических критериев;
- анализ технических и экономических результатов, достигнутых за счет повышения ЭИЭР.

В зависимости от направлений анализа информации следует использовать следующие средства анализа [12]:

- таблицы и графики;
- методы сравнительного анализа;
- методы индикативного планирования;
- методы финансово-экономического анализа;
- методы корреляционного, регрессионного и факторного анализа;
- методы экспертных оценок;
- гистограммы, диаграммы разброса, контрольные карты, причинно-следственные диаграммы, балансовые диаграммы;
- временные ряды и пр.

Анализ публикаций, связанных с вопросами оценки потенциала энергосбережения и степени его использования [2, 9, 17...20] выявил слабую их проработку, особенно на уровне ПП. Среди них практически не затронуты вопросы оценки величины ПЭПП и отдельных его элементов, не предложена унифицированная методика оценки потенциала энергосбережения. В имеющихся работах встречаются лишь самые общие подходы к их решению. Вместе с тем, указанная проблема является очень важной, так как оценка потенциала энергосбережения раскрывает характер процесса энергопотребления, протекающего непосредственно на ПП.

Под **оценкой потенциала энергосбережения\*** ПП будем понимать определение величины максимально возможной суммарной экономии ТЭР, полученной за определенный промежуток времени при оптимальном использовании передового технологического и энергетического оборудования (установок, агрегатов, аппаратов), использовании передовых технологий, научной организации производства при условии выполнения технических и технологических требований, а также требований к качеству продукции, охране труда и охране окружающей среды.

В научной литературе существуют различные методологические подходы и способы оценки ПЭПП [2, 9, 17...20]: оценка в натуральном, относительном и стоимостном выражении.

Потенциал энергосбережения ПП в некоторый момент времени  $t$  представляет собой совокупность потенциалов энергосбережения отдельных его элементов, а, следовательно, очевидно, что величина общего ПЭПП в некоторый момент времени  $t$  определяется как сумма физических значений потенциалов составляющих его элементов. В общем виде иерархическая

---

\* Здесь и далее по тексту речь будет идти именно о **технологически доступном потенциале энергосбережения**, поэтому далее по тексту словосочетание «**технологически доступный**» опустим.

\* Для исключения излишнего загромождения математических выражений далее по тексту индекс  $t$  будет опущен, а все изложения будут приводиться для некоторого конкретного момента времени.

схема механизма оценки потенциала энергосбережения на разных уровнях функционирования энергохозяйства ПП представлена на рис. 1 [11].



**Рис. 1. Иерархическая схема механизма оценки потенциала энергосбережения на разных уровнях функционирования энергохозяйства ПП**

Изложение методики оценки ПЭПП будем производить на примере оценки суммарного электрического потенциала энергосбережения:

$$P_{\text{эл.сум}}^{\text{пп}} = P_{\text{эл.сум}}^{\text{о.з.р.с}} + \sum_{l=1}^L \left[ P_{\text{эл.}l}^{\text{ц}} + P_{\text{эл.}l}^{\text{о.ц.р.с}} + \sum_{j=1}^J \left( P_{\text{эл.}j,l}^{\text{у}} + P_{\text{эл.}j,l}^{\text{о.у.р.с}} + \sum_{i=1}^I P_{\text{эл.}i,j,l}^{\text{эп}} \right) \right], \quad (7)$$

где  $P_{\text{эл.сум}}^{\text{пп}}$  - суммарный электрический ПЭПП;  $P_{\text{эл.сум}}^{\text{о.з.р.с}}$  - суммарный электрический потенциал энергосбережения общезаводской распределительной сети ПП;  $P_{\text{эл.}l}^{\text{ц}}$  - электрический потенциал энергосбережения электроприемников  $l$ -го цеха ПП;  $P_{\text{эл.}l}^{\text{о.ц.р.с}}$  - электрический потенциал энергосбережения общецеховой распределительной сети  $l$ -го цеха ПП;  $P_{\text{эл.}j,l}^{\text{у}}$  - электрический потенциал энергосбережения электроприемников

$j$ -го участка  $l$ -го цеха;  $\Pi_{эл.j.l}^{o.y.p.c}$  - электрический потенциал энергосбережения общеучастковой распределительной сети  $j$ -го участка  $l$ -го цеха;  $\Pi_{эл.i.j.l}^{эп}$  - электрический потенциал энергосбережения  $i$ -го электроприемника (установки, агрегата, аппарата), расположенного на  $j$ -м участке  $l$ -го цеха.

Аналогично определяют и другие виды частных потенциалов энергосбережения (тепловой, топливный).

При определении энергетического и общего потенциалов энергосбережения в натуральных единицах измерения, необходимо привести частные потенциалы энергосбережения (электрический, тепловой, топливный) к единой унифицированной единице - т у.т. Для этого необходимо воспользоваться следующими выражениями:

при определении энергетического потенциала энергосбережения:

$$\Pi_{эн.сум}^{пр} = k_{эл} \cdot \Pi_{эл.сум}^{пр} + k_{тп} \cdot \Pi_{тп.сум}^{пр} \quad (8)$$

где  $k_{эл}$ ,  $k_{тп}$  - тепловой эквивалент перевода в т у.т., соответственно, электрической и тепловой энергии, т у.т./тыс.кВт·час и т у.т./ГДж (т у.т./Гкал);  $\Pi_{тп.сум}^{пр}$  - суммарный тепловой ПЭПП, ГДж (Гкал);

при определении общего потенциала энергосбережения:

$$\Pi_{об.сум}^{пр} = k_{эл} \cdot \Pi_{эл.сум}^{пр} + k_{тп} \cdot \Pi_{тп.сум}^{пр} + \sum_{s=1}^S k_{т.s} \cdot \Pi_{т.сум.s}^{пр} \quad (9)$$

где  $k_{т.s}$  - эквивалент перевода топлива  $s$ -го вида в т у.т.;  $\Pi_{т.сум.s}^{пр}$  - суммарный топливный ПЭПП для топлива  $s$ -го вида.

С помощью предложенного алгоритма можно производить определение любого вида потенциала энергосбережения.

Информация, полученная при энергетическом обследовании, служит базой для разработки, обоснования и принятия системы управленческих решений, обеспечивающих повышение ЭИЭР. Уровень ЭИЭР зависит от множества факторов, действие которых обусловлено существующими организационными, техническими и технологическими условиями производства. Наличие сложных взаимосвязей между производством и энергетическим хозяйством вызывает необходимость комплексного (всестороннего) анализа ЭИЭР. Однако, существующие методы анализа, применяемые в настоящее время, недостаточно учитывают системный характер связей между энергохозяйством и производством. По этой причине на ПП не используются в полной мере резервы энергосбережения, связанные с совершенствованием техники, технологии, организации и управления производством [2].

В литературе, посвященной проблемам повышения ЭИЭР, задачи анализа рассмотрены довольно узко. Они ориентируют, как правило, на оценку удельных расходов и размеров экономии энергоресурсов по сравнению с установленными нормами и заданиями по их экономии, а также



на выявление причин отклонений [22]. Объясняется это тем, что, во-первых, специальная методика анализа использования энергоресурсов, как таковая, не сформировалась, а, во-вторых, анализ проводят только на уровне исследования состояния энергетических балансов по критерию поиска резервов энергосбережения. В связи с этим появляется необходимость разработки такой методики анализа, которая отражала бы, с одной стороны, зависимость эффективности использования энергоресурсов от техники, технологии, организации, управления и контроля, экономического стимулирования и т. п., а с другой — способствовала бы выявлению вклада каждой хозяйственной единицы, каждого работника в достижение общих результатов повышения ЭИЭР [22].

Методика комплексного анализа ЭИЭР на ПП должна однозначно определять цели, задачи, объекты и направление анализа, логическую последовательность его проведения, источники исходной информации и перечень показателей, по которым будет проводиться оценка ЭИЭР, методы обработки полученных данных, организационные вопросы по подготовке и проведению анализа.

Принципиальное значение при разработке конкретной методики комплексного анализа имеет определение последовательности его выполнения. Порядок проведения комплексного анализа ЭИЭР на ПП схематически приведен на рис.2. При проведении комплексного анализа ЭИЭР на ПП важное значение имеет количественная оценка ЭИЭР. Для ее проведения необходимо определиться с количественной характеристикой ЭИЭР.

В данной работе для оценки ЭИЭР предлагается оперировать термином «уровень ЭИЭР». **Уровень ЭИЭР** — это не абсолютное значение ЭИЭР, а относительная величина, показывающая, насколько выше или ниже фактическая ЭИЭР относительно ЭИЭР идеала-аналога. При этом сравнение идет не самих значений ЭИЭР, а величин показателей, характеризующих уровень ЭИЭР.

Другими словами, под **оценкой уровня ЭИЭР промышленного предприятия** следует понимать сравнение фактической ЭИЭР с эталоном (идеалом-аналогом) по заранее определенной системе показателей, которые изменяются в некоторых пределах [2]:

$$Y_{эф} = \begin{cases} \Pi_{1.min} \leq \Pi_1 \leq \Pi_{1.max}; \\ \dots \dots \dots \dots \dots \\ \Pi_{i.min} \leq \Pi_i \leq \Pi_{i.max}; \\ \dots \dots \dots \dots \dots \\ \Pi_{N.min} \leq \Pi_N \leq \Pi_{N.max} \end{cases}, \quad (10)$$

где  $Y_{эф}$  - уровень ЭИЭР промышленного предприятия;

$\Pi_{i.min}, \Pi_{i.max}$  - минимальное и максимальное значение  $i$ -го показателя, характеризующего ЭИЭР,  $i = \overline{1, N}$ ;

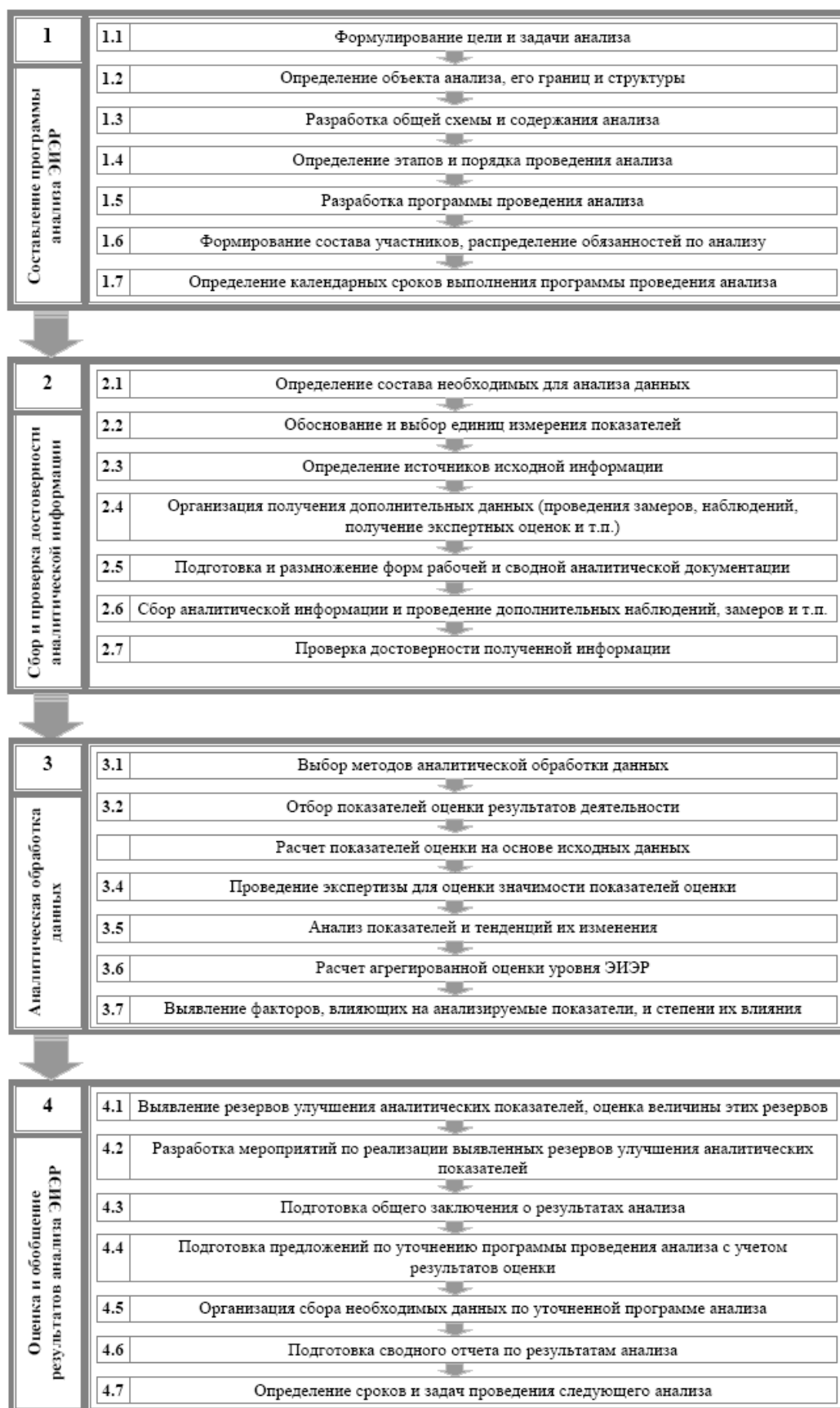


Рис. 2. Порядок проведения комплексного анализа ЭИЭР на ПП

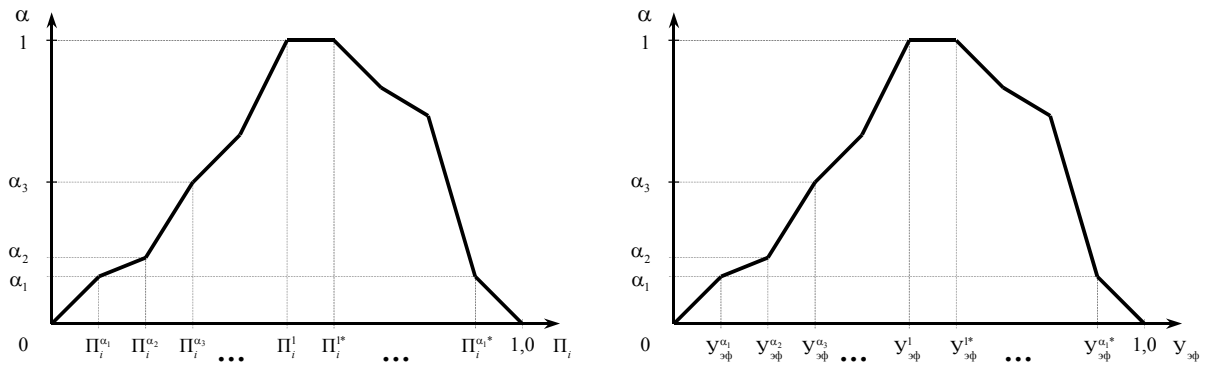
$\Pi_i$  - фактическое значение показателя, характеризующего ЭИЭР;

$N$  - общее количество показателей, характеризующих ЭИЭР.

Идеалом-аналогом (лучше сказать - базовыми показателями идеала-аналога) могут выступать показатели идеализированного ПП аналогичного отраслевого назначения, которое имеет наилучшие фактические показатели, характеризующие уровень ЭИЭР по отрасли на рассматриваемый момент времени.

Методика проведения комплексного анализа ЭИЭР ПП предложена в [2].

В тех случаях, когда исходная информация о показателях, характеризующих ЭИЭР, задается нечетким образом и на качественном уровне («приблизительно столько-то», «около такого-то числа» и т.д.) для оценки уровня ЭИЭР предлагается использовать теорию нечетких множеств. При этом показатели, характеризующие ЭИЭР, будут задаваться в виде нечетких величин [23, 24]. Существует несколько способов задания нечетких величин, среди которых наиболее удобным в данном случае является представление в виде набора  $\alpha$ -уровней [23, 24] (рис.3)).



**Рис. 3. Представление ожидаемых значений показателей, характеризующих ЭИЭР, и уровня ЭИЭР в виде нечетких величин**

Предположим, что нечеткие показатели  $\tilde{\Pi}_i (i = \overline{1, N})$  и нечеткие балльные оценки  $\tilde{a}_i (i = \overline{1, N})$  являются нормальными нечеткими множествами на  $R$ :

$$\tilde{\Pi}_i = \bigcup_{\Pi_i \in R} \mu_{\tilde{\Pi}_i}(\Pi_i) / \Pi_i, \quad \tilde{a}_i = \bigcup_{a_i \in R} \mu_{\tilde{a}_i}(a_i) / a_i. \quad (11)$$

Определим  $\alpha$ -уровневые множества нечетких показателей  $\tilde{\Pi}_i$  и нечетких балльных оценок  $\tilde{a}_i$ :

$$\begin{aligned} \Pi_i^\alpha &= \{ \Pi_i : \Pi_i \in R, \mu_{\tilde{\Pi}_i}(\Pi_i) \geq \alpha \}, \quad \alpha \in [0, 1], \quad (i = \overline{1, N}), \\ a_i^\alpha &= \{ a_i : a_i \in R, \mu_{\tilde{a}_i}(a_i) \geq \alpha \}, \quad \alpha \in [0, 1], \quad (i = \overline{1, N}). \end{aligned} \quad (12)$$

Количество  $\alpha$ -уровней  $l = \overline{0, p}$  может быть любым и определяется в зависимости от имеющейся в наличии информации. Нулевой уровень  $\alpha_0$

удобно трактовать как интервал всех возможных значений показателей и балльных оценок, а уровень, для которого  $\alpha_p = 1$  – как интервал наиболее возможных (вероятных) значений. При этом чем меньше  $\alpha$ , тем больше степень уверенности в том, что фактическое значение показателя или балльных оценок находится в этом интервале, так как этот интервал шире.

Тогда для каждого уровня  $\alpha : \{\alpha_0 = 0, \alpha_1, \dots, \alpha_l, \dots, \alpha_p = 1\}$  можно записать агрегированную оценку уровня ЭИЭР в ПС

$$\begin{cases} Y_{эф}^{\alpha_0} = a_1^{\alpha_0} \cdot \Pi_1^{\alpha_0} + a_2^{\alpha_0} \cdot \Pi_2^{\alpha_0} + \dots + a_N^{\alpha_0} \cdot \Pi_N^{\alpha_0}, \\ Y_{эф}^{\alpha_1} = a_1^{\alpha_1} \cdot \Pi_1^{\alpha_1} + a_2^{\alpha_1} \cdot \Pi_2^{\alpha_1} + \dots + a_N^{\alpha_1} \cdot \Pi_N^{\alpha_1}, \\ \vdots \\ Y_{эф}^{\alpha_p} = a_1^{\alpha_p} \cdot \Pi_1^{\alpha_p} + a_2^{\alpha_p} \cdot \Pi_2^{\alpha_p} + \dots + a_N^{\alpha_p} \cdot \Pi_N^{\alpha_p}. \end{cases} \quad (13)$$

В результате получаем нечеткую агрегированную оценку уровня ЭИЭР в ПС:

$$Y_{эф}^{\alpha} = \left\{ Y_{эф} : Y_{эф} \in R, \mu_{\tilde{Y}_{эф}}(Y_{эф}) \geq \alpha \right\}, \quad \alpha \in [0,1]. \quad (14)$$

Для определения четкого значения нечеткой агрегированной оценки уровня ЭИЭР на ПП необходимо воспользоваться формулой центра тяжести для одноточечных множеств:

$$Y_{эф} = \frac{\sum_{l=1}^p (\alpha_l \cdot Y_{эф}^{\alpha_l})}{\sum_{l=1}^p \alpha_l}, \quad (15)$$

где  $l$  – количество  $\alpha$ -уровней  $l = \overline{1, p}$ .

По полученной таким образом агрегированной оценке уровня ЭИЭР можно производить энергетическую сертификацию ПП [25, 26] с присвоением им определенного уровня ЭИЭР.

Еще одним из немаловажных вопросов при проведении энергетического аудита является вопрос формирования перечня наиболее эффективных ЭСМ. Поскольку для внедрения ЭСМ в большинстве случаев требуются определенные затраты (и часто значительные), а отдача на единицу затрат может быть весьма различной, необходимо проверять каждое мероприятие на экономическую допустимость для практической реализации, т.е. ЭСМ должны быть не только технически возможными, но и экономически целесообразными. Экономия энергоресурсов должна достигаться при удельных затратах не выше, чем при добыче (производстве) энергоресурсов, с учетом расходов на всех последующих этапах вплоть до конечного потребления. Относительно неразработанными в рамках решаемой задачи остаются отдельные области оценки эффективности внедрения ЭСМ, в том числе в условиях множественных целей управления (учет таких немаловажных показателей, как: срок службы, ремонтпригодность,

долговечность, надежность, удобство обслуживания, габариты, масса и др.). Поэтому требуются специальные методы, позволяющие находить если не самое лучшее, то хотя бы приближающееся к нему решение. При этом они должны быть удобными с точки зрения простоты расчетов и подготовки исходной информации. Наиболее доступным и простым из таких методов, по-видимому, является ранжирование ЭСМ по какому-то набору показателей, принятых в качестве критериев, с последующим выбором по этим критериям наиболее эффективных мероприятий в границах заданных условий по затратам и результатам. Возможные варианты решения указанных проблем формирования оптимального множества ЭСМ предлагаются в [16].

**Выводы.** 1. Для любого производственного объекта, независимо от выбранного направления повышения уровня ЭИЭР, целесообразно, прежде всего, провести энергетический аудит, который является необходимой составной частью комплекса мероприятий, направленных на повышение уровня ЭИЭР.

2. Из всех этапов проведения ЭА наиболее неразработанным на данный момент являются этапы сбора, обработки и анализа информации, несмотря на их особую важность. Для проведения эффективного сбора информации об объекте ЭА предлагается произвести декомпозицию производственного объекта на отдельные элементы. При этом для решения задачи выбора приоритетности энергетического обследования предлагается, вместо выявления наиболее предпочтительного элемента, проводить упорядочение всех элементов по степени их предпочтения, используя метод анализа иерархий.

3. Анализ работ, посвященных вопросам оценки потенциала энергосбережения, выявил слабую их проработку, особенно на уровне промышленного предприятия. Данные вопросы изучены недостаточно, не предложена комплексная согласованная методика оценки потенциала энергосбережения и степени его использования. Актуальной является разработка соответствующей методической базы для оценки потенциала энергосбережения.

## **СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. **Стратегія енергозбереження в Україні:** Аналітично-довідкові матеріали в 2-х томах: Механізми реалізації політики енергозбереження / За ред. В.А. Жовтянського, М.М. Кулика, Б.С. Стогнія. – К.: Академперіодика, 2006. Т.2. – 600 с.

2. **Розен В.П., Соловей А.И., Чернявский А.В.** Разработка методики агрегированной оценки эффективности использования энергетических ресурсов на промышленных предприятиях // Энергетика: економіка, технології, екологія. – 2005. – № 1 (16). – С.8...17.

3. Поиск и оценка резервов экономии топливно-энергетических ресурсов на машиностроительных предприятиях / А.П. Биржин, Е.П. Кузнецов, В.В. Ухабов, В.И. Лебедев, М.И. Певзнер, В.П. Чикунов // Электротехн. пром-сть. Сер.27. Общеотрасл. вопросы электропромышленности: Обзор. информ. – 1991. – Вып.148. –

С.1...192.

4. Наказ Держкоенергозбереження України від 12.05.97 р. № 49. «Щодо тимчасового положення про порядок проведення енергетичного обстеження та атестації спеціалізованих організацій на право його проведення». Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 2 вересня 1997 р. за № 375/2179.

5. Наказ Держкоенергозбереження України від 15.09.99 р. № 78. «Про затвердження Порядку організації та проведення енергетичних обстежень бюджетних установ, організацій та казенних підприємств». Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 15 грудня 1999 р. за № 871/4164.

6. **М 0013184.0.33-04.** Типова методика енергетичних обстежень промислових підприємств / В.Розен, О.Соловей, А.Чернявський, Ю.Шульга. – К.: Держкоенергозбереження України, 2004. – 70 с.

7. **РД 153-34.0-09.162-00.** Положение по проведению энергетических обследований РАО «ЕЭС России».

8. **Методики** проведения инструментальных обследований при энергоаудите. – Н. Новгород: НИЦЭ, 1998.

9. **Енергозбереження** – пріоритетний напрямок державної політики України / Ковалко М.П., Денисюк С.П.; Відпов. ред. Шидловський А.К. – Київ: УЕЗ, 1998. – 506 с.

10. **Розен В.П., Соловей О.І., Чернявський А.В.** Практичні рекомендації щодо проведення внутрішнього енергоаудиту на підприємствах гірничої галузі // Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво». – 2001. – Вип. 6 – С.105...110.

11. **Енергетичний аудит:** Навчальний посібник / О.І. Соловей, В.П. Розен, Ю.Г. Лега, О.О. Ситник, А.В. Чернявський, Г.В. Курбака. – Черкаси: ЧДТУ, 2005. – 299 с.

12. **Розен В.П., Соловей О.І., Чернявський А.В.** Інформаційно-аналітичні засоби енергетичного аудиту промислових підприємств // Збірник наукових праць Міжнародної науково-технічної конференції «Енергоефективність-2004» (Додаток до журналу «Холодильна техніка і технологія»). – 13...16 жовтня 2004, Одеса. – С.154...159.

13. **Розен В.П., Соловей А.І., Чернявський А.В.** Нормативно-правове і методичне забезпечення енергоаудиту // Електропанорама. – 2004. – №5. – С.17.

14. **Вагин Г.Я., Лоскутов А.Б.** Экономия энергии в промышленности. Учебное пособие. – Н. Новгород: НГТУ, 1997.

15. **Аракелов В.Е., Кремер А.И.** Методические вопросы экономии энергоресурсов. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 192 с.

16. **Розен В.П., Соловей А.І., Чернявський А.В.** Применение метода анализа иерархий при выборе энергоэффективного оборудования и технологий // Праці Міжнародного енергоекологічного конгресу «Енергетика. Екологія. Людина». – 27, 28 березня 2003, Київ. – С.166...171.

17. **Україна на шляху до енергетичної ефективності:** Методологія розробки, основні напрями і механізми реалізації Комплексної державної програми енергозбереження України до 2010 року / М.П. Ковалко, М.В. Рапцун, М.М. Кулик, О.О. Єрохін. – К.: Агентство з раціонального використання енергії та екології, 1997. – 228 с.

18. **Организация и планирование** энергохозяйства промышленных предприятий / В.Т. Мелехин, Г.Л. Багиев, В.А. Полянский. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1988. – 224 с.

19. **Степанов В.С., Степанова Т.Б.** Потенциал и резервы энергосбережения в промышленности. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1990. – 248 с.

20. **Клитко А.В., Находов В.Ф.** Оценка потенциала энергосбережения производственных объектов // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы, – 1999. – №1 (4). – С.135...139.

21. **Зайченко Ю.П.** Исследование операций: Учебник. – 6-е изд., перераб. и доп. – К.: Слово, 2003. – 688 с.

22. **Мных Е.В.** Анализ эффективности использования топливно-энергетических ресурсов. – Львов: Свит, 1991. – 176 с.
23. **Управление производством при нечеткой исходной информации** / Р.А. Алиев, А.Э. Церковный, Г.А. Мамедова. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 240с.: ил.
24. **Алтунин А.Е., Семухин М.В.** Модели и алгоритмы принятия решений в нечетких условиях: Монография. – Тюмень: Издательство Тюменского государственного университета, 2000. – 352 с.
25. **Розен В.П., Соловей А.И., Чернявский А.В.** Использование сертификатов энергоэффективности как механизма государственного стимулирования энергосбережения на промышленных предприятиях Украины // Промелектро. – 2004. – №3. – С.26...29, 32...36.
26. **Розен В.П., Соловей А.И., Чернявский А.В.** Роль энергетической сертификации промышленных предприятий в стимулировании энергосбережения на Украине // Промелектро. – 2004. – №5. – С.23...29.