

где $i_{\text{дл}}^{\text{к}}=2040$ А – каталожное значение допустимого тока, $\theta_{\text{доп}}=70$ °С – допустимая температура шин в эксплуатационных условиях, $\theta_{\text{ном}}=25$ °С – принятая температура воздуха.

Параметры нормального ЗРВ ДД тока:

$$\text{МО } m(I_{\text{дл}}) = \frac{i_{\text{р1}}^{\text{дл}} + i_{\text{р1}}^{\text{дл}}}{2} = \frac{3189,5 + 0}{2} = 1594,75 \text{ А,}$$

$$\text{СКО } \sigma(I_{\text{дл}}) = \frac{i_{\text{р1}}^{\text{дл}} - i_{\text{р1}}^{\text{дл}}}{6} = \frac{3189,5 - 0}{6} = 531,6 \text{ А.}$$

Риск перегрузки при заданном расчетном рабочем токе $i_{\text{рр}}=2000$ А определяется выражением

$$r_{\text{п}} = 1 - \Phi \left[\frac{i_{\text{рр}} - m(I_{\text{с}})}{\sigma(I_{\text{с}})} \right] + \Phi \left[\frac{i_{\text{рр}} - m(I_{\text{дл}})}{\sigma(I_{\text{дл}})} \right],$$

что в числах даст:

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Shmoilov A.V. Probability technologies in electric power industry // Proc. 6th Russian-Korean Intern. Symp. on Science and Technology KORUS-2002, Novosibirsk, 2002. – V. 2. – P. 421-424.
2. Krivova L.V. The Development of Practical Methods for Definition of Structural and Functional Reliability Parameters of Electric In-

$$r_{\text{п}} = 1 - \Phi \left[\frac{2000 - 1580}{163} \right] + \Phi \left[\frac{2000 - 1594,75}{531,6} \right] = 1 - 0,49506 + 0,27637 = 0,78.$$

Уменьшение риска возможно за счет увеличения сечения шин прямоугольного сечения, либо принятия шин другого конструктивного исполнения.

Вывод

Для количественной оценки и гарантированно обоснования при выборе оборудования, токоведущих частей и коммутационных аппаратов, а также подбора их оптимальных параметров предложен вероятностный метод выбора и обоснования оборудования, токоведущих частей и коммутационных аппаратов электроустановок.

stallations // Proc. 8th Russian-Korean Intern. Symp. on Science and Technology KORUS-2004, June 26 – July 3, 2004, Tomsk Polytechnic University, Tomsk, 2004. – V. 1. – P. 248–250.

Поступила 22.11.2006 г.

УДК 621.186

КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ ПЛАНИРОВАНИЯ РЕМОНТОВ ОБОРУДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ В ГЕНЕРИРУЮЩИХ КОМПАНИЯХ

Л.А. Беляев, А.С. Заворин, С.А. Косяков, К.А. Кривогузов*

Томский политехнический университет
ОАО «Омскэнерго», г. Омск*
E-mail: Kosyakov@tpu.ru

Анализируется проблема планирования ремонтов оборудования тепловых электростанций в условиях перехода к регулируемым рынкам энергии. Изложены основания применения системного подхода в условиях реальных ограничений по финансовым ресурсам. В качестве алгоритма планирования предложен метод, основанный на классификации источников инициирования ремонтных работ и учитывающий приоритеты составляющих работ для разных уровней управления.

Под управлением в общем виде понимается процесс воздействия на систему с целью ее упорядочивания, совершенствования и развития. В энергетике можно различать два вида процессов управления: с одной стороны – это целенаправленные воздействия на технологические процессы, с другой – на коллективы людей – менеджмент. Первый вид управления имеет только техническую сторону – физико-технические основы энергетики, и в этой области большинство процессов хорошо изучено. Знание основных закономерностей технологических процессов в энергетике позволяет с успехом применять математическое моделирование [1, 2] и алгоритмы оптимизации для выбора параметров и режимов сложных технических систем.

Второй вид управления в последнее время существенно усложнился [3, 4]. Причина – формирующиеся в этом секторе экономики рыночные отношения. Условия хозяйствования для предприятий энергетики сильно изменились. Один из аспектов этого усложнения – двойное положение энергетической отрасли (и каждого отдельного ее предприятия) на рынке ресурсов: с одной стороны, топливные и материальные ресурсы приобретаются по рыночным ценам, с другой, цены на продукцию энергетики в виде электро- и теплоэнергии регулируются государственными органами [5].

Обеспечение баланса между доходной и затратной частью генерирующей компании является функцией экономического процесса управления.

Вместе с тем общие издержки по обслуживанию и ремонту оборудования связаны с каждым звеном организации сферы ремонта. Поэтому в процедуре планирования ремонтов важную роль играет ежегодное регулирование финансовых ресурсов на их проведение. Затраты на ремонт в принципиальном смысле безусловно необходимы, т. к. именно ремонтная сфера позволяет не только поддерживать на должном уровне готовности основное оборудование (котлы, турбины и генераторы), но и предопределяет правильное и эффективное функционирование всех вспомогательных и обеспечивающих систем.

Для подавляющего числа единиц оборудования электростанций, а также для зданий и сооружений характерны определенные этапы жизненного цикла (рис. 1).



Рис. 1. Этапы жизненного цикла единицы оборудования

Как видим, необходимость ремонта следует из того, что технологическое оборудование изнашивается, меняются характеристики его элементов и конструкций, что в конечном итоге приводит к снижению производительности, ухудшению показателей работы электростанции. Для компенсации последствий этих, в основном негативных, процессов организация, эксплуатирующая оборудование, периодически проводит мероприятия по поддержанию его технических характеристик, а именно: техническое обслуживание, ремонты и техническое диагностирование. В отличие от других промышленных производств, износ энергетического оборудования происходит как во время его эксплуатации, так и во время его простоя. Поэтому объем ремонта определяется не только исходя из «времени наработки», но и с учетом влияния других факторов. В частности, важно учитывать конкретный состав оборудования, основные теплотехнические принципы производственного процесса, возможные последствия от непроведения ремонта в нормативный срок.

С организационной точки зрения проведение ремонтов на тепловой электрической станции может быть представлено в виде последовательности определенных процедур (процессов), рис. 2, которые осуществляются по каждому виду ремонтов. Каждый процесс регламентирован нормативными документами как в части возникновения и планирования, так и в части его осуществления, и имеет свои риски и внешние факторы, препятствующие

его завершению. При оценке значимости этапов следует принять во внимание, что практически не вероятно изменить решение о проведении ремонтной работы после завершения процесса 4 («Закупка»). Поэтому основными этапами, которые определяют необходимость и возможность проведения ремонтов, следует считать процессы 1, 2 и 3 («Инициирование», «Планирование» и «Утверждение»).

При осуществлении ремонтной деятельности используются разнородные ресурсы: персонал, причем как специально подготовленный, так и малоквалифицированный, машины и механизмы, материалы и запасные части, финансы. Наряду с этим успешность и эффективность ремонтной деятельности сильно зависит от смежных, связанных с ремонтами, процессов: поставка материалов и запасных частей, управление персоналом, ведение архива технической документации и др. В процессе выполнения ремонтных работ принимает участие большое количество различных структурных подразделений, ответственных лиц, подрядных организаций. Конечной целью для всех них является одна – обеспечение эксплуатационной готовности и исправного состояния оборудования, зданий и сооружений.



Рис. 2. Процессы (организационно-технологические стадии) проведения ремонта

Каждая из ремонтных работ имеет определенные характеристики (стоимость, трудоемкость, трудозатраты), причем принятая к реализации совокупность работ ограничивается бюджетом, выделенным на их проведение, и временем (срок начала и период выполнения).

Таким образом, выбор совокупности ремонтных работ в каждом конкретном случае – это задача, при решении которой должно быть учтено много факторов, должны быть учтены также и последствия, взаимосвязанность и взаимозависимость как ремонтируемых частей, элементов, так и схем и технологий в целом. Решение такой трудно формулируемой задачи представляет проблему, которую неправильно рассматривать в рамках традиционных (тривиальных) подходов.

Для правильного решения данной задачи надо увязать воедино вышеперечисленные факторы и

произвести выбор ремонтных работ с получением максимальной эффективности по их завершению. Метод, которым будет решаться задача, должен быть доступным и приемлемым для любого уровня управления, кроме того, метод должен включать возможность согласованного оценивания ремонтных работ на разных уровнях управления. Осуществить это можно на основе системного подхода, который, с одной стороны, позволит учитывать определяющие теплотехнические принципы процессов производства в энергетике, а, с другой стороны, корректно прогнозировать последствия недоремонта и, как следствие, вероятный недоотпуск электроэнергии в энергосистеме.

Использование аналитических методов при организации ремонтов должно позволять с приемлемой эффективностью решать такие задачи:

- перспективное планирование ремонтов по объектам;
- годовое планирование ремонтов и бюджета;
- годовое планирование объемов ремонта, поставок материальных ресурсов;
- детализированное планирование материальных и трудовых ресурсов;
- учет ресурсов на внеплановые и аварийные ремонты;
- оценка финансовых и материальных ресурсов на потенциальные внеплановые работы;
- расчет минимально обоснованной величины резервирования оборудования.

Применение системного подхода предполагает представление описанной проблемы в виде взаимосвязанной иерархии более простых задач.

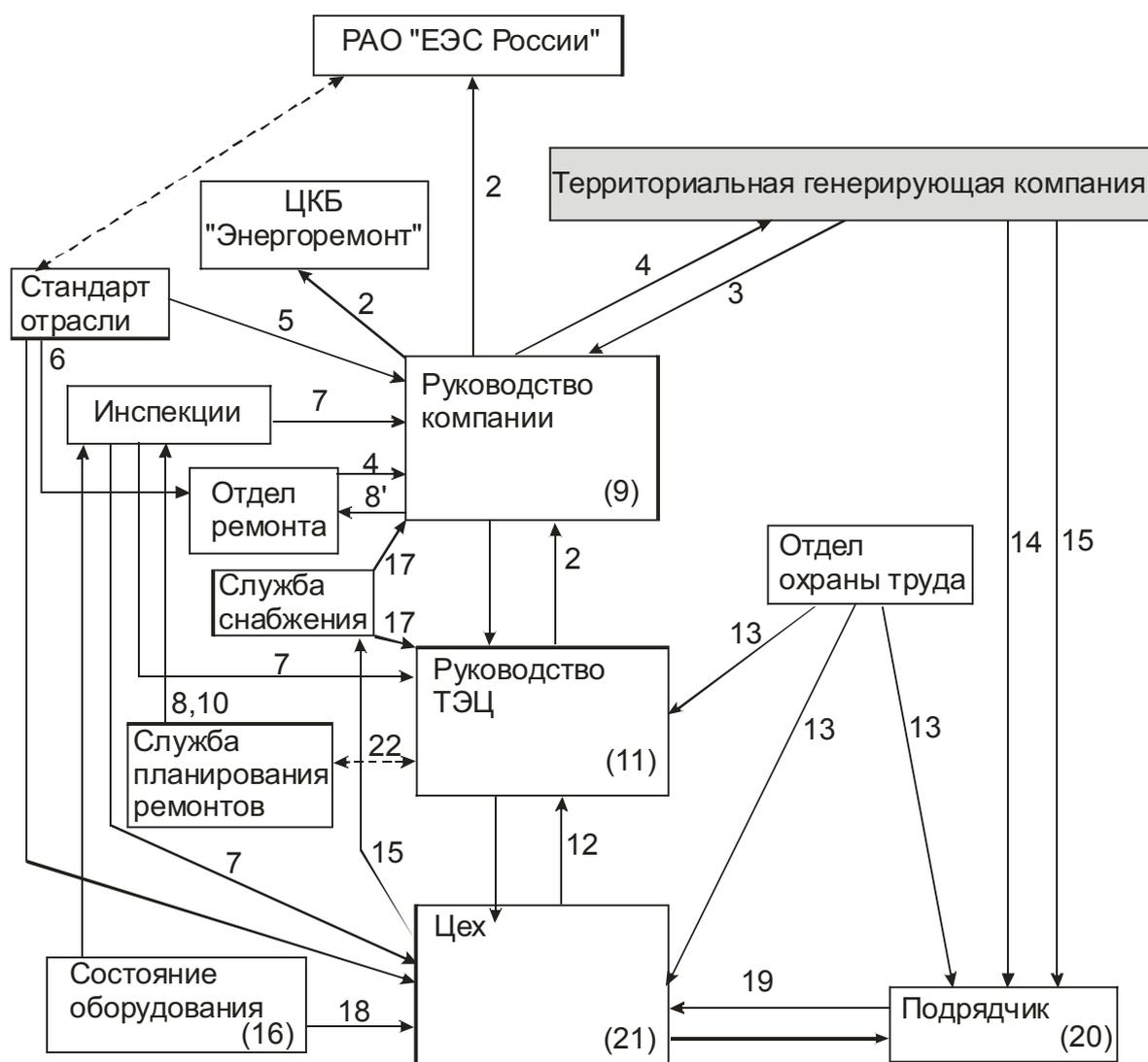


Рис. 3. Схема управления ремонтами: 1) директивные документы (приказы, распоряжения); 2) согласования объемов, сроков ремонта; 3) директивные документы (приказы, распоряжения), финансовый план, бюджет; 4) подача закупок; 5) требования; 6) периодичность, объем ремонта; 7) предписания; 8) график по ТЭЦ; 8') график по компании в целом; 9) утверждение планов; 10) техническое задание к закупкам; 11) планирование работ; 12) обоснование работы; 13) контроль соблюдения правил по ТБ; 14) договор; 15) расчеты; 16) диагностика, журнал дефектов, отказы; 17) стоимость товарно-материальных ценностей; 18) периодичность, объем ремонта; 19) выполнение; 20) выполнение работы; 21) возникновение работ; 22) корректировка

Такого рода упрощенная схема управления ремонтами приведена на рис. 3. Можно видеть, что связи, воздействующие на принятие решений, определяющих необходимый и возможный объем ремонтных работ, имеют как последовательный, так и параллельный характер. Общая иерархическая схема процессов проведения ремонтов приведена на рис. 4.

Определение и выбор к производству работ – это процедура, которая проводится по одному и тому же сценарию, однотипно, однако конкретные условия, которые необходимо учитывать, изменяются. Например, при определении характеристик ремонта насоса, котлоагрегата или другого оборудования обычная процедура такая: определяется необходимый объем работы, стоимость услуг по его выполнению, количество и стоимость необходимых материальных ресурсов. При этом должны быть учтены: наработка со времени последнего ремонта, имеющиеся отказы, возможные последствия отказа, требования руководящих документов в части межремонтного периода, оценка влияния узла на надежность установки или станции в целом. Условия, которые могут изменять характеристики ремонтных работ: период года, заданная нагрузка, климатические особенности, наличие квалифицированного ремонтного персонала и др.



Рис. 4. Обобщенная схема процессов планирования ремонтов

Как правило, выбор работ рассматривается и осуществляется как совокупность процессов принятия статистических решений с адаптацией, т. е. с обратной связью по решениям. Другими словами, рассмотрение очередного вопроса производится с учетом выводов при рассмотрении предыдущего этапа анализа [3, 6]. Вместе с тем принятие решения само по себе является весьма субъективным процессом, что при одних и тех же условиях может приводить к различным заключениям разных специалистов. Чтобы минимизировать различия в определении тех или иных ремонтов и максимально уменьшить расхождение в процедурах сопоставления работ (такое сопоставление проводят в разных технологических цехах и структурных подразделениях компании), необходима система принятых к рассмотрению объектов и условий. Эта система должна включать в себя и достаточно простую методику выбора работ. Такая методика должна давать результаты, которые доступны и понят-

ны по логике выбора для каждого уровня управления ремонтами в компании.

Одна из предпосылок построения подобной системы состоит в том, что объекты как самостоятельные единицы хорошо описаны и детально регламентированы. К таким объектам можно отнести: оборудование с техническими характеристиками, межремонтные периоды, объемы ремонтов и технического обслуживания, рассчитанные и расцененные затраты трудовых ресурсов, необходимая номенклатура и количество материальных ресурсов, ограничения по срокам производства работ и финансовых ресурсов, собственно процесс определенного и утвержденного ремонта и технического обслуживания [6].

Сложность построения системы заключается в *разработке систематизированных критериев выбора* к исполнению работ на заданном отрезке времени и *самой процедуры отбора*. Ремонтные работы представляют собой большое множество разнообразных по стоимости, по элементам различных технологических цепочек производства. Они различны по степени влияния на надежность, экономичность, объем производственной мощности и др., но главное, они имеют разную степень важности, хотя и объединены в одну статью затрат по бизнес-плану.

Надежность, экономичность и экологичность энергетических производств напрямую зависит от состояния основных фондов предприятия [4], и для их максимального обеспечения были разработаны нормативы трудоемкости каждой операции и необходимых материальных ресурсов [6]. Нормативы и соответствующие требования были разработаны еще в условиях плановой экономики; соблюдение абсолютно всех требований этих норм в настоящее время при выполнении ремонтов невозможно. Действующий на сегодня метод планирования – бюджетирование накладывает условие для безусловного выполнения на всех уровнях управления ограниченность бюджета ремонтов на каждый конкретный отрезок времени [4, 6]

Следует также учитывать и другие характерные черты систем управления в энергетике на современном этапе:

- относительную сложность самой системы и функции управления;
- усиление требования быстрой адаптации ремонтного производства с учетом возрастающей централизации управления;
- нарастающую информационную перегруженность системы управления;
- возникшее противоречие между технологическими требованиями к современным производственным процессам и сохраняющимся на деле низким уровнем механизации и автоматизации управленческого труда.

Обозначенная проблематика, безусловно, касается любой из задач планирования в энергетике.

Наше внимание сконцентрировано на одной из самых важных задач: как из всех необходимых для выполнения ремонтных работ выбрать те, которые надо выполнить в рамках выделенного финансирования.

В качестве инструмента управления ремонтами в энергетике часто называют методы сетевого моделирования [7]. Ремонт на электростанциях представляет собой сложную и ответственную задачу, увязывающую все узлы и элементы установки, обеспечение безопасности труда, обеспечение материальными и энергетическими ресурсами, учет работы каждой бригады, которые выполняют тысячи различных операций. Для управления такими процессами было разработано сетевое моделирование [8]. Однако эта система дает «рецепт» на вопрос «как делать?», т. е. она включается в процесс управления уже после того, как определили и выбрали «что делать».

Сегодня в мире существует много информационных систем и программных комплексов, специально предназначенных для решения задач планирования, для управления основными фондами, для управления ресурсами. Все они разрабатывались для реализации концепций управления предприятием – MRP, ERP, CSRP и т. д. Внутреннее наполнение данных систем предназначено для ответа на вопрос «как лучше управлять?», но не дает модели выбора «что делать из всего объема работ, если финансовых ресурсов недостаточно для его полного выполнения?».

В качестве решения поставленной задачи в рамках настоящей статьи предлагается алгоритм последовательного сравнения характеристик ремонтных работ и последующего построения финансовой приоритетно-значимой диаграммы проекта плана ремонта оборудования, зданий и сооружений электростанции. Для реализации такого подхода все ремонтные работы рассматриваются как объекты с одинаковыми характеристиками. В этом случае можно описать их как однородное множество. Объединяющей основой является изначальное определение источников инициирования работ, затем формирование работ со схожим источником (инициированием) в группы для сравнения по важности, приоритетам и последствиям. Такие группы мы называем логическими группами сопоставления.

Анализ многолетней практики формирования ремонтных планов на электростанциях позволил сформировать следующие логические группы сопоставления: «предписания надзорных органов и инстанций», «утвержденные графики производства работ», «внеплановые ремонты», «требования правил техники безопасности», «требования правил механизации труда», «дополнительные объемы ремонтов», «хозяйственно-бытовой ремонт».

Первоначально рассматриваются все работы, определенные и выявленные в соответствии с действующей нормативно-технической документаци-

ей и техническим состоянием. К ним относятся работы, обусловленные графиками, предписаниями, директивными циркулярами, связанные с механизацией труда или содержанием средств производства, а также работы, обеспечивающие техническое диагностирование, внеплановые и аварийные ремонты и др. Все они учитываются и сопоставляются с целью выбора и включения в один план ремонта на планируемый календарный период.

Принцип предлагаемого алгоритма заключается в следующем. Все работы относительно друг друга сравниваются по степени важности, с присвоением приоритетов: тем самым формируется последовательность из всех инициированных к выполнению работ. На сегодня, однако, отсутствует единый критерий оценки приоритета для всего перечня этих работ. Поэтому еще до назначения приоритетов все ремонтные работы распределяются по логическим группам сопоставления. Затем, в каждой группе работы сопоставляются между собой с присвоением численного значения приоритета каждой из работ. Графически такое распределение представлено на рис. 5.

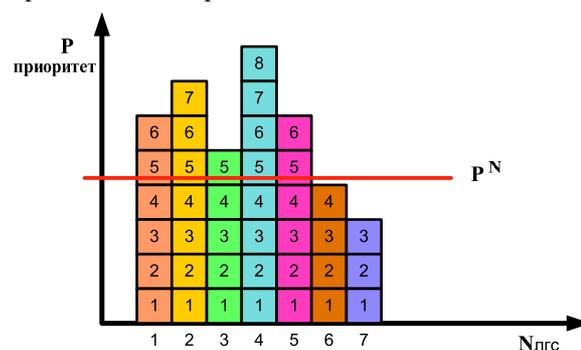


Рис. 5. Диаграмма логических групп сопоставления ремонтных работ

Методами дискретного исчисления рассчитывается объем затрат на выполнение работ от 1 до P уровня, где граничным условием (P^N) является объем выделенного бюджета. Таким образом, образуется система определения ремонтных работ, которые можно выполнить в планируемый период.

Все предлагаемые сегодня на рынке автоматизированные системы управления техническим обслуживанием и ремонтом и стандарты управления предприятием на базе ERP-систем не включают в себя решение задачи, поставленной в настоящей работе, равно как и не рассматривают эту задачу. Стандарты ERP-систем (в том числе CSRP, MES) решают задачи, в которых ремонт рассматривается как неделимый блок целей, задач, ресурсов, и стандарты помогают руководству компании ответить на вопрос «на какую сумму производить ремонт?». Модули управления техническим обслуживанием и ремонтом, входящие во многие корпоративные информационные системы управления, автоматизируют процессы организации и проведения ремонта, и помогают не только провести ремонт, но и организовать его наиболее эффективно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методы робастного, нейро-нечеткого и адаптивного управления / Под ред. Н.Д. Егупова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 744 с.
2. Егоров С.В. Технологические процессы как объекты управления. – М.: Изд-во МЭИ, 1988. – 96 с.
3. Силич В.А., Силич М.П. Системный анализ и исследование операций: – Томск: Изд-во ТПУ, 2000. – 97 с.
4. Пительман Л.Д. Эффективная энергокомпания: экономика, менеджмент, реформирование. – М.: Олимп-Бизнес, 2002. – 544 с.
5. Христенко В.Б. Рельсы, трубы, провода. Опыт управления инфраструктурными комплексами. – М.: Дело, 2004. – 124 с.
6. Синягин Н.Н., Афанасьев Н.А., Новиков С.А. Система планово-предупредительного ремонта оборудования и сетей промышленной энергетики. – М.: Энергия, 1978. – 408 с.
7. Ташлыков О.Л. Ремонт оборудования атомных станций. – Екатеринбург: Изд-во УГТУ, 2003. – 319 с.
8. Глазман И.М., Новиков В.Г. Основы сетевого планирования и управления. – Харьков: Изд-во Харьковского ун-та, 1966. – 96 с.

Поступила 10.04.2007 г.

УДК 621.04.18

«ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ» И «ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ»: УТОЧНЕНИЕ ПОНЯТИЙ, СИСТЕМА СБАЛАНСИРОВАННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ «ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ»

В.В. Ефремов, Г.З. Маркман

Томский политехнический университет
E-mail: rcr@tpu.ru

На основе анализа понятий «энергосбережение» и «энергоэффективность» показана недопустимость их отождествления. Уточнены параметры для количественной характеристики этих понятий. Впервые предложено использовать систему сбалансированных показателей энергоэффективности для разработки норм потребления электрической энергии.

В работах, посвященных проблеме эффективности использования энергетических ресурсов, на всех этапах их «жизненного цикла» – от добычи до потребления конечных продуктов (электрической и тепловой энергии) – используются два понятия, обозначаемые терминами «энергосбережение» и «энергоэффективность» [1]. Однако среди специалистов имеется большое разночтение этих терминов, а поэтому в одних публикациях они используются как тождественные, в других термин «энергосбережение» отвергается. Сторонники второй позиции полагают, что нужно потреблять энергию в объемах, необходимых для удовлетворения своих потребностей, т. е. не экономить, но потреблять ее эффективно, и на этом основании, отождествляя эти два термина, предлагают заменять термин «энергосбережение» термином «энергоэффективность». Нам представляется, что такое разночтение возникло вследствие того, что в Законе РФ «Об энергосбережении» [1] допущена серьезная неточность при расшифровке термина «энергоэффективность». В Законе этим двум ключевым понятиям дано следующее толкование:

- «энергосбережение» – это реализация правовых, научных, технических и экономических мер, направленных на эффективное использование энергоресурсов и на вовлечение в хозяйственный оборот вторичных или возобновляемых энергоресурсов.
- «энергоэффективность» – достижение технически возможной и экономически оправданной

энергоэффективности использования энергоресурсов при существующем уровне развития техники и технологии.

Легко заметить, что «реализация» в первом определении и «достижение» во втором, означают одно и то же – некий комплекс действий (мероприятий), направленных на повышения качества (эффективности) потребления энергоресурсов. Такое понимание первого термина возражений не вызывает. Относительно второго, надо иметь в виду, что термин «эффективность» во всех сферах человеческой деятельности используется для того, чтобы обозначить достигнутое качество (эффективность) осуществления целенаправленных действий и технологических процессов. В конкретных случаях «эффективность» отражается такими количественными показателями как «коэффициент использования» и «коэффициент реактивной мощности».

Представляется возможным и полезным «энергоэффективность» также характеризовать количественным параметром, например, «коэффициентом энергоэффективности» (\mathcal{E}).

В общем виде коэффициент энергоэффективности можно представить как:

$$\mathcal{E} = \frac{W_{\Pi}}{W_{\Pi} + W_{\text{нп}}}, \quad (1)$$

где W_{Π} – полезно использованная энергия, $W_{\text{нп}}$ – непроизводительные расходы, $W_{\Pi} + W_{\text{нп}}$ – валовая выработка энергии.