

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА»

А.И. ДОВГЯЛЛО, Д.А. ДОВГЯЛЛО, Д.А. УГЛАНОВ

МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА
ПРОИЗВОДСТВА ДВИГАТЕЛЕЙ
ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

*Утверждено Редакционно-издательским советом университета
в качестве учебного пособия*

Самара
Издательство СГАУ
2008

УДК 621.3(075)
ББК 31.280.7
Д58

Рецензенты: д-р техн. наук, проф. В.С. Кудинов
канд. техн. наук, доц. В. С. Егорычев

Д 58 *Довгялло А.И.*
Методическое обеспечение энергетического обследования технологического процесса производства двигателей летательных аппаратов: учеб. пособие / А.И. Довгялло, Д.А. Довгялло, Д.А. Угланов. – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2008. – 52 с.

ISBN 978-5-7883-0596-7

Изложена методика определения очередности проведения энергосберегающих мероприятий с применением математического эвристического метода оценки и постановки приоритетов.

Пособие предназначено для студентов, обучающихся по специальности 160301 «Авиационные двигатели и энергетические установки», для специализации «Энергосберегающие технологии» и слушателей курсов, изучающих современные методики оценки экономической эффективности энергосберегающих проектов.

УДК 621.3(075)
ББК 31.280.7

ISBN 978-5-7883-0596-7

© Самарский государственный
аэрокосмический университет, 2008

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
1. ОРГАНИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОЗАТРАТАМИ ПРЕДПРИЯТИЯ.....	5
1.1 Цель и содержание энергосбережения.....	5
1.2 Управление энергопотреблением.....	8
2. МЕТОДИКА ОЦЕНКИ И ВЫБОРА ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ МЕРОПРИЯТИЙ ПО КРИТЕРИЮ ОЧЕРЕДНОСТИ.....	13
3. ОБСЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ С ЦЕЛЬЮ СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОЕМКОСТИ.....	29
4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГОЗАТРАТ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ ПРОИЗВОДСТВА ДЕТАЛЕЙ НА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОМ ПРЕДПРИЯТИИ.....	44
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	51
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	51

Введение

Целью энергетического обследования промышленного предприятия и его технологического процесса является разработка рекомендаций и технических решений по снижению энергетических затрат.

В настоящем пособии представлены основы проведения энергетического обследования машиностроительных предприятий (организаций), использующих топливно-энергетические ресурсы (ТЭР) в их производственном процессе.

Энергетическое обследование направлено на решение следующих основных задач:

- оценка фактического состояния энергоиспользования на предприятии, выявление причин возникновения и определение значений потерь топливно-энергетических ресурсов;
- разработка плана мероприятий, направленных на снижение потерь топливно-энергетических ресурсов;
- выявление и оценка резервов экономии топлива и энергии;
- определение рациональных размеров энергопотребления в производственных процессах и установках;
- определение требований к организации по совершенствованию учета и контроля расхода энергоносителей;
- получение исходной информации для решения вопросов создания нового оборудования и совершенствования технологических процессов с целью снижения энергетических затрат, оптимизации структуры энергетического баланса предприятия путем выбора оптимальных направлений, способов и размеров использования подведенных и вторичных энергоресурсов.

1. ОРГАНИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОЗАТРАТАМИ ПРЕДПРИЯТИЯ

1.1 Цель и содержание энергосбережения

Основная цель энергетического менеджмента – показать предприятию его возможности в управлении резервами энергоиспользования. Вопросы экономии энергоресурсов рассматриваются с позиций системного подхода, учитывая их направленность на снижение затрат на производство и реализацию продукции на предприятии. Иными словами, управление энергосбережением – это составная часть управления затратами.

Результатом подобного управления должно явиться улучшение финансового положения предприятия и повышение его конкурентоспособности. Таким образом, энергоменеджмент в его современном представлении – это сочетание методов обследования энергохозяйства предприятия с экономическим анализом его деятельности. Акцент делается на влияние энергоэкономии на результаты хозяйственной деятельности предприятия.

Основная цель предлагаемой темы – кратко познакомить с концепцией и методологией управления рационализацией энергопотребления, которые сложились к настоящему времени в ряде предприятий, занимающихся вопросами энергосбережения.

Вопрос тем более важен, что организаций, занимающихся разработкой и реализацией технических аспектов энергосбережения, сегодня немало, в то же время вопросам непосредственного управления этим процессом уделяется значительно меньшее внимание. Объясняется ситуация недостаточной подготовкой руководителей в части того, что сегодня принято обозначать термином «менеджмент», то есть управлением в условиях рыночного ведения хозяйства. В конечном итоге даже многие передовые технические решения остаются невостребованными, а там где они реализуются, эффект от внедрения зачастую не оправдывает возлагавшихся на них надежд.

Сравнение спроса и потребности в энергоресурсах подводит к одной проблеме, которой не уделяли до сих пор должного внимания: насколько разумно удовлетворять потребность в энергии в том виде, в каком она выступает на рынке как спрос. Не каждый вид спроса является разумной формой удовлетворения той или иной потребности и получения необходимого конечного эффекта.

Подобный взгляд на проблему энергосбережения, широко распространенный на Западе, не нашел пока должного понимания в отечественной практике.

Как это ни парадоксально, но и сегодня еще существует точка зрения, что экономия энергии – это вопрос либо самоограничения в ее потреблении, либо ограничения путем административной регламентации при определенном снижении достигнутого уровня благосостояния общества.

Поэтому необходимо определить позицию в отношении того, что же такое экономия энергии и повышение эффективности использования топливно-энергетических ресурсов.

Практика технико-экономического обоснования энергосберегающих мероприятий, базирующихся исключительно на экономии энергии, полученной в результате снижения ее потребления, не способствует внедрению перспективных мероприятий по повышению энергоэффективности.

При определении понятия «экономия энергии» мы исходим из того, что снижение энергопотребления необходимо не любой ценой, а только при условии достижения определенных экономических показателей. Под экономией энергии следует понимать лишь такие меры, которые не сказываются отрицательным образом на конечных результатах ее использования, то есть снижение потребления энергоносителей не должно наносить ущерба благосостоянию и интересам общества.

Энергосбережение не следует путать с тотальным сокращением расхода всех энергоресурсов. Поэтому наиболее общей целью энер-

госберегающей политики является обеспечение в нужный момент и в необходимой мере замедления роста потребления энергии, снижения темпов его прироста на единицу создаваемой в обществе стоимости. Поскольку энергетика играет не только технико-экономическую, но и значительную социальную роль, для оценки эффективности энергосбережения необходимо сопоставлять «социальный эффект» с «социальными издержками», которые для этого требуются. Только те конкретные меры и их совокупность, которые обеспечивают достаточный уровень «социальной эффективности», могут быть рекомендованы к использованию.

Исходя из этого, энергосбережение следует рассматривать как совокупность технических, технологических и организационно-экономических мероприятий, направленных на повышение эффективности энергоиспользования, результатом реализации которых является разница между существующим спросом на энергоресурсы и относительно оптимальным спросом на них для удовлетворения тех же потребностей в форме, максимально отвечающей интересам как производителей, так и потребителей энергоресурсов.

Обостренное внимание к проблеме снижения энергозатрат, проявляемое в последнее время наиболее дальновидными бизнесменами и менеджерами, становится понятным, поскольку издержки на энергообеспечение в структуре себестоимости промышленной продукции начиная с 1992 г. возросли более чем в три раза, а в некоторых отраслях – на порядок.

Сегодня резервы повышения энергоэффективности являются одной из основных составляющих повышения эффективности производства. При этом подразумеваются неиспользованные возможности улучшения технико-экономических показателей работы как энергохозяйства, так и предприятия в целом. Поэтому вопросы экономии энергоресурсов необходимо рассматривать с позиций системного подхода, имея в виду их направленность на снижение затрат на производство и реализацию продукции на предприятии. Иными слова-

ми, управление энергосбережением – это составная часть управления затратами.

Результатом подобного управления должно явиться улучшение финансового положения предприятия и повышение его конкурентоспособности. Необходимо отметить, что основа достижения этого желаемого результата – активное реагирование предприятия на изменение внутренних и внешних факторов.

Следует подчеркнуть, что реализация всего изложенного выше возможна только в том случае, если предприятие считает нужным ясно продемонстрировать стратегию по эффективному использованию энергии.

Очень важно понятие ответственности. Руководитель не будет уделять внимание энергоэффективности, если он не несет ответственности за уровень издержек производства или в связи с тем, что затраты на энергию невелики по сравнению с другими составляющими издержек. В случае если руководство заинтересовано в снижении издержек, могут быть получены ощутимые результаты.

1.2 Управление энергопотреблением

Управление рациональным энергопотреблением на предприятии (для того, чтобы оно было действительно эффективным) складывается из трех взаимосвязанных компонентов:

- энергоаудита – инспектирования предприятий с целью поиска возможных резервов экономии энергии, которое выполняется приглашенными на предприятие независимыми специалистами – энергетическими аудиторами (или энергоаудиторскими фирмами), имеющими лицензию, на основе договора и, как правило, на платной основе;
- энергоменеджмента – управленческого процесса, предполагающего последовательное выполнение, цикличность и координацию планирования, создания адекватных структур управления, механизмов стимулирования и контроля над рациональным расхода-

нием топливно-энергетических ресурсов (ТЭР), осуществление которого обеспечивает условия и способы достижения уменьшения энергозатрат на предприятии с целью повышения уровня конкурентоспособности производимых товаров и услуг;

- управленческого учета – интегрированной системы учета затрат и доходов, нормирования, планирования, контроля и анализа, систематизирующей информацию для оперативных управленческих решений и координации проблем развития предприятия, проводящего активную энергосберегающую политику.

Причем если первая компонента предполагает привлечение внешних исполнителей (энергоаудиторских фирм и/или независимых энергоаудиторов), то становление систем энергоменеджмента и управленческого учета – целиком внутреннее дело предприятия.

Алгоритм проведения работ по энергосбережению следующий:

- 1) проводится аналитическая работа по выяснению влияния внутренних и внешних ситуационных переменных, имеющих отношение к энергоэффективности предприятия, на его устойчивость;

- 2) после проведения анализа подключается блок управляющих воздействий и определяется их эффективность для достижения поставленной цели – снижения затрат – и рассчитывается система показателей, определяющих устойчивость.

Как видно из рис. 1.1, центральным моментом управления энергоэффективностью является улучшение (или, как минимум, стабилизация) внутренней устойчивости предприятия.

Под подобной устойчивостью понимается такое состояние материально-вещественной и стоимостной структуры производства и реализации продукции и такая ее динамика, при которой обеспечивается стабильно высокий результат функционирования предприятия.

В основе достижения устойчивости лежит принцип активного реагирования на изменение внутренних и внешних факторов (которые в предлагаемой схеме носят название блоков внутренних и внешних воздействий).

Цель анализа блока внешних воздействий – выявление реальных и потенциальных угроз и возможностей предприятия во внешней среде, оказывающих решающее влияние на результаты его хозяйственной деятельности в части затрат на производство и реализацию продукции. Построение соответствующих матриц возможностей и угроз позволяет проводить ранжирование как позитивных, так и негативных факторов, а также определить конкурентные позиции фирмы на рынке.

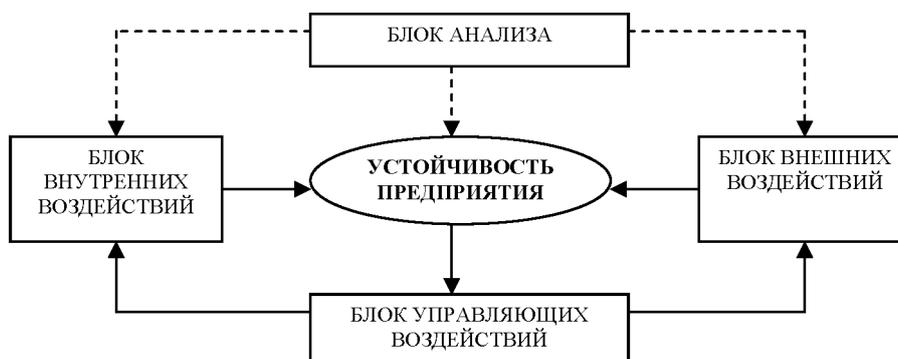


Рис. 1.1. Блочная структура управления энергоэффективностью предприятия

Под внешними факторами следует понимать:

1. Неопределенность перспектив развития регионального топливно-энергетического комплекса, вызывающую у предприятий стремление к строительству собственных, малозатратных, высокоэффективных источников энергии (при этом предполагается, что стоимость собственных энергоносителей будет не выше, чем при централизованном энергоснабжении).

2. Законодательную базу, характеризующуюся не только сложностью и подвижностью, но в значительной мере и неопределенностью.

3. Государственные региональные органы регулирования энергетики, обеспечивающие принудительное выполнение законов в соответствующих сферах своей компетенции, а также собственных тре-

бований, зачастую также имеющих силу закона. Кроме того, эти органы имеют возможность инициировать реализацию различных энергосберегающих программ и проектов.

4. Цены и тарифы на ТЭР, динамика изменения которых в значительной степени непрогнозируема.

5. Дефицитность определенных видов местных энергоресурсов;

6. Финансово-кредитную политику.

7. Экономическую конъюнктуру в регионе, из-за которой интересы предприятия часто направлены на стремление выжить любой ценой, а не на эффективность энергоиспользования.

8. Экологическую обстановку.

9. Развитость рынка энергосберегающего оборудования и услуг.

Важно подчеркнуть, что для успешной деятельности предприятия его руководство обязано учитывать весь комплекс внешних факторов, хотя активно влиять на них не всегда может. Понятно также, что сила воздействия каждого из них различна и может носить как положительную, так и отрицательную направленность. В первом случае вероятность признания руководством предприятия необходимости повышения эффективности использования топливно-энергетических ресурсов повышается, во втором – наоборот.

Концептуальная основа построения блока внутренних воздействий – логистический подход, одной из основных задач которого является управление энергозатратами при доведении материального потока от первичного источника сырья до конечного потребителя. Указанная концепция позволяет реализовать принципы системного подхода к управлению затратами, увязывая в единое целое маркетинг, финансы и планирование производства.

При логистическом подходе на предприятии выделяется и получает существенные права служба, приоритетной задачей которой является управление сквозными материальными потоками, то есть потоками, которые поступают извне, проходят склады, службы снабжения, производственные подразделения, склады готовой про-

дукции (если таковые имеются) и затем уходят к потребителю. В результате показатели материального потока на выходе из предприятия становятся управляемыми.



Рис. 1.2. Блок внутренних воздействий

При традиционном подходе задача совершенствования сквозного материального потока внутри предприятия, как правило, не имеет приоритетного значения ни для одного из подразделений. Показатели материального потока на выходе из предприятия имеют случайное значение и далеки от оптимальных.

Блок внутренних факторов, воздействующих на энергоэффективность (рис. 1.2), представляет собой потери ТЭР, которые являются следствием разрегулирования энергохозяйства предприятия как единой системы. Видно, что этот блок распадается на три большие группы:

- 1) потери топлива и энергии, связанные с низким техническим уровнем энергохозяйства предприятия;
- 2) потери энергоресурсов, связанные с энергорасточительством;
- 3) потери энергоресурсов, связанные с несовершенством управления энергохозяйством.

2. МЕТОДИКА ОЦЕНКИ И ВЫБОРА ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ МЕРОПРИЯТИЙ ПО КРИТЕРИЮ ОЧЕРЕДНОСТИ

Вопрос выбора стратегии обследования промышленных объектов, особенно при ограничениях по капитальным вложениям, техническим средствам и трудовым затратам, имеет важное значение при решении задач, связанных с экономией топлива и энергии в промышленности. В связи с этим актуальной является задача декомпозиции промышленного объекта, например предприятия, на отдельные элементы и формирования целевых последовательностей элементов, которые необходимо исследовать в зависимости от различных конкретных постановок задач по экономии энергоресурсов. Под элементами понимается подсистема или устройство, на вход которых 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 в цехе, система отопления на участке, воздухо-разделительная станция и др.).

Исходное множество элементов формируется различными путями. Первоначальное множество элементов можно получить, исходя из схемы энергоснабжения предприятия (в соответствии с числом ответвлений энергетических потоков от основных магистралей к отдельным потребителям). Это множество затем корректируется с учетом объединения однородных установок в один элемент. Множество элементов может быть образовано на основе составленных синтетических энергобалансов предприятия по видам используемых энергоносителей, по целевому назначению потребления, по объектам. Перечень элементов, подлежащих детальному исследованию с точки зрения эффективности энергоиспользования, может быть составлен с учетом системы показателей, характеризующих состояние учета и

нормирования расхода энергоносителей, энергетическую составляющую в себестоимости продукции, расход энергоносителя, затраты на совершенствование элемента и эффект от этого совершенствования и др. Существенную роль при образовании множества элементов могут играть экспертные оценки.

Когда образовано исходное множество элементов, возникает очень важная задача установления очередности обследования этих элементов в зависимости от поставленных конкретных задач. В существующих методиках предлагается в первую очередь проводить анализ энергоемких установок, суммарное энергопотребление которых составляет 70-80% общего энергопотребления предприятия. Очередность обследования устанавливается исходя из энергоемкости элемента (определяется наиболее энергоемкий цех, 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).

Несмотря на то что в ряде случаев выбор «представительных» элементов проводится с учетом различных вспомогательных показателей, очень часто имеют место бездоказательные рассуждения, допускающие разное толкование, а наличие трудноформализуемых процедур приводит к усложнению решения задачи. Сегодня решение задачи «выбора» в основном заключается в указании наиболее предпочтительного элемента, но не в упорядочении всех элементов по степени предпочтения.

В общем виде поставленная задача может быть сформулирована с привлечением известных методов математического описания сложных систем и соответствующих методов решения подобных задач (линейного и нелинейного программирования, динамического программирования, целочисленного программирования, методов стохастического программирования, теории игр и др.). Сложность ре-

шения таких задач известна, особенно в случае отсутствия полной информации, использования параметров, труднодоступных для измерения или не поддающихся формализации. Кроме того, часто имеет место явная несоизмеримость затрат на получение информации и сложных математических моделей процессов с возможным эффектом от их использования.

Удовлетворительное решение, находящееся в области допустимых (близких к оптимальному) с учетом имеющихся ограничений, может быть получено при использовании так называемых эвристических методов исследования. Эвристические процедуры основаны на опыте, практическом знании объекта исследования, его особенностей и представляют собой неоднородный набор приемов – как традиционных, так и придуманных. Эвристические методы решения позволяют получить за короткое время необходимый результат с приемлемой точностью, а для реализации их иногда необходимо построение достаточно простых моделей, использующих в качестве исходной информации как «числа», так и «слова».

Для решения поставленной задачи можно использовать комплексный эвристико-кибернетический подход. Основные принципы такого подхода заключаются в следующем:

- декомпозиция предприятия (образование исходного множества элементов) проводится в соответствии с поставленной общей задачей (по экономии топлива или электроэнергии, снижению суммарного энергопотребления и т.д.) при эвристическом пренебрежении слабыми связями между элементами и с учетом рассмотрения «узких» мест (например, возможная замена энергоносителя является признаком выделения соответствующего элемента в самостоятельный);
- агрегирование элементов (корректировка исходного множества элементов) проводится при малых различиях элементов;
- рассмотрение каждого элемента осуществляется с точки зрения выполнения общей задачи для предприятия в целом;

- модель состояния (исходного и возможного) элемента представляется в виде конфигурационного образа (т.е. оценка свойства элемента «в целом» проводится по его отдельным параметрам – «проециям»), математически описываемого аддитивной функцией;

- составляющие моделей исходного и возможного состояний элемента описываются на основе эвристик, отражающих фактическое состояние элемента и носящих интуитивно мотивированный характер, а значения и «вес» показателей состояния выражаются соответственно двумя предельными числами;

- функция предпочтения элемента формируется как функция, аргументами которой являются параметры исходных данных (функция исходного состояния) и параметры решения (функция возможного состояния).

В соответствии с изложенными принципами решение задачи включает следующие этапы:

- формулирование конкретной задачи;
- декомпозицию предприятия на элементы;
- упорядочение элементов по степени их предпочтения (формирование квазиоптимальной последовательности элементов), включающее разработку эвристико-кибернетических моделей элементов;
- формирование целевых последовательностей элементов.

Остановимся на постановке и решении задачи формирования квазиоптимальной и целевых последовательностей элементов.

Пусть $G = \{g_i\}$ – заданное множество элементов, полученное тем или иным путем, где g_i – код (наименование) i -го элемента; $i=1,2,\dots, n$ – номер элемента; n – число элементов.

Исходное состояние элементов представим общим вектором в виде

$$Z^0 = X^0 Y^0, \quad (2.1)$$

где $X^0 = \{x_i^0\}$ и $Y^0 = \{y_i^0\}$ – соответственно корректирующий

и основной векторы исходного состояния элементов; $x_i^0 = \sum_{j=1}^m q_{ij}^0$ – об-

щая функция исходного состояния i -го элемента; j и m – соответственно вид и число состояний элемента; $y_i^0 = \mathcal{E}_i^0 / \sum_{i=1}^n \mathcal{E}_i^0$ – основная функция (основной относительный показатель) исходного состояния i -го элемента; \mathcal{E}_i^0 – основной абсолютный показатель i -го элемента.

Функция исходного j -го состояния i -го элемента

$$q_{ij}^0 = \alpha_{ij}^0 \beta_{ij}^0, \quad (2.2)$$

где α_{ij}^0 и β_{ij}^0 – соответственно весовой коэффициент показателя исходного j -го состояния i -го элемента и сам показатель. При этом

$$\beta_{ij}^0 = \begin{cases} 0 \\ 1 \end{cases}; \quad \alpha_{ij}^0 \Big|_{\beta_{ij}^0 = 1} = \begin{cases} 0 \\ 1 \end{cases}.$$

Выбор функции q_{ij}^0 , отражающей конфигурационный образ элемента, проводится исходя из простоты получения исходной информации. Предлагается сформировать исходную информацию по группам, дающим сведения о состоянии оборудования, использовании энергоносителей в элементе, уровне и масштабах изготовления оборудования, значимости элемента в общей технологической схеме производства, эксплуатационных характеристиках оборудования, возможности изменения режима работы элемента, выработке и использовании вторичных энергоресурсов в элементах, состоянии работ по анализу энергоиспользования, воздействию работы элемента на окружающую среду. Характеристики исходного состояния элемента и соответствующие значения β^0 и α^0 приведены в табл. 2.1, согласно которой определяется значение функции q^0 для каждого элемента множества G . В качестве значения \mathcal{E}_i^0 принимается исходное (фактическое) – годовое энергопотребление элемента, соответственно может быть взято электропотребление, теплотребление и

другой подобный энергетический показатель в зависимости от целевой задачи.

Исходя из $Z^0 = \{z_i^0\}$, где $z_i^0 = x_i^0 y_i^0$, определяем вектор значимости уровней исходного состояния элементов как $K^0 = \{K_i^0\}$ и соответствующие его составляющие – коэффициенты значимости уровней исходного состояния каждого элемента:

$$K_i^0 = z_i^0 / \sum_{i=1}^n z_i^0. \quad (2.3)$$

Таблица 2.1. Характеристика исходного состояния элемента

Характеристика элемента	α_{ij}^0	β_{ij}^0
Элемент:		
новый	0	
устаревший:	1,0	
модернизируется		0,5
не модернизируется		1,0
Изготовление:		
специальное	0	
серийное в количестве:	1,0	
несущественном		0,5
существенном		1,0
Производство:		
вспомогательное	0	
основное	1,0	
влияние на качество конечной продукции:		
несущественное		0,5
существенное		1,0
Остановка:		
без ущерба	0	
с ущербом:	1,0	
несущественным		0,5
существенным		1,0

Продолжение табл. 2.1

Характеристика элемента	α_{ij}^0	β_{ij}^0
Энергоносители: не используются используются: одного вида более одного	0 1,0	0,5 1,0
Экономия энергоресурсов возможна: в одном направлении (пассивный элемент) в различных (активный элемент) : два направления более двух	0 1,0	0,5 1,0
Режим работы: номинальный переменный с повышением удельного расхода энерго- ресурсов: несущественным существенным	0 1,0	0,5 1,0
Конденсат: не подлежит возврату (не образуется) возвращается: существенно недостаточно	0 1,0	0,5 1,0
Потребитель-регулятор: не является является: существенная экономия энергоносителя несущественная экономия энергоносителя	0 1,0	0,5 1,0
Агрегат-источник ВЭР: не является является: с рекуперацией с возможной рекуперацией	0 1,0	0,5 1,0
Потребитель ВЭР: не является является: существенное использование ВЭР несущественное	0 1,0	0,5 1,0

Окончание табл. 2.1

Характеристика элемента	α_{ij}^0	β_{ij}^0
Приборы учета и (или) контроля расходов энергоресурсов: имеются не имеются: используется расчетный способ учета не используется	0 1,0	0,5 1,0
Научно обоснованная норма расхода энергоресурсов: разработана и корректируется отсутствует: разрабатывается не разрабатывается	0 1,0	0,5 1,0
Составление и анализ энергобалансов: проводится периодически практически не проводится: устаревшие данные данные отсутствуют	0 1,0	0,5 1,0
Вредные выбросы в окружающую среду: отсутствуют имеют место: обезвреживаются не обезвреживаются	0 1,0	0,5 1,0

В соответствии со значением коэффициента значимости по убыванию последнего формируется последовательность элементов исходного состояния, которая может самостоятельно служить в качестве исходной для образования целевых последовательностей (в этом случае K_i^0 играет роль частной функции предпочтения). Обозначим эту последовательность как множество $G^0 = \{g_i^0\}$ и соответственно $K^0 = \{k_l^0\}$, где $l = 1, 2, \dots, n$ – скорректированный номер элемента.

Аналогично изложенному выше определяется вектор значимости уровней возможного состояния элементов $K' = \{k_i'\}$, где коэффи-

циент значимости уровня возможного состояния элемента находится как

$$k'_i = z'_i / \sum_{i=1}^n z'_i, \quad (2.4)$$

$$\text{где } z'_i = x'_i y'_i; \quad x'_i = \sum_{j=1}^{m'} q'_{ij}; \quad y'_i = \vartheta'_i / \sum_{i=1}^n \vartheta'_i;$$

$$q'_{ij} = \alpha'_{ij} \beta'_{ij}; \quad \beta'_{ij} = \begin{cases} 0 \\ 1 \end{cases}; \quad \alpha'_{ij} \Big|_{\beta'_{ij}=1} = \begin{cases} 0 \\ 1 \end{cases}.$$

(Определения и обозначения – см. соответствующие для исходного состояния элемента.)

Характеристики возможного состояния элемента и соответствующие им значения (β' и α') приведены в табл. 2.2. В качестве значения ϑ'_i принимается возможное или плановое годовое энергопотребление или другой подобный показатель. В зависимости от значения k'_i по убыванию последнего формируется последовательность элементов возможного состояния. Обозначим эту последовательность как множество $G' = \{g'_p\}$ и соответствующие $K = \{k'_p\}$, где $p = 1, 2, \dots, n$ – скорректированный номер элемента.

Квазиоптимальная последовательность элементов формируется с помощью общей функции предпочтения, имеющей вид

$$\Pi = \sum_{h=1}^H C_h R_h. \quad (2.5)$$

В малой окрестности рабочей точки с учетом гипотезы о гладкости целевой функции можно линеаризовать искомую зависимость по формуле Тейлора:

$$\Pi \approx \Pi_0 + \sum_{h=1}^H \left(\frac{\partial \Pi}{\partial R_h} \right)_0 \Delta R_h, \quad (2.6)$$

где P_0 – значение исходной функции; $\left(\frac{\partial P}{\partial R_h}\right)_0$ – значение частной производной общей функции по частному показателю R_h (коэффициент линеаризации).

Если принять, что ΔR_h пропорционально R_h , то применительно к нашему случаю функцию предпочтения можно представить в виде

$$P = R_l^0 + C_p R_p', \quad (2.7)$$

где R_l^0 и R_p' – соответствующие ранги элемента в последовательностях исходного и возможного состояний (номера мест, занимаемых одним и тем же элементом в обеих последовательностях); C_p – вес (вероятность) возможного состояния элемента.

Вообще задача определения весовых коэффициентов C_h сводится к решению задачи векторной оптимизации, трудности выполнения которой известны. Для нашего случая принимаем $C_l = 1$. Значения C_p могут быть получены путем экспертного оценивания. Если принять, что оценки исходного и возможного состояний элемента приведены с одинаковой погрешностью, то в качестве первого приближения можно записать:

$$P = (R_l^0 + R_p')/2, \quad (C_l = C_p = 0,5).$$

Критерием правильности оценки исходного и возможного состояния элемента может служить мера расхождения $\Delta R = |R_l^0 - R_p'|$. Чем меньше значение ΔR , тем оценка сделана более корректно. С учетом последнего эвристическая формула общей функции предпочтения может иметь вид:

$$P = R_l^0 + C |R_l^0 - R_p'|. \quad (2.8)$$

Эффективность выбранного вида функции предпочтения определяется путем сравнения результатов решения при разных исходных предпосылках.

Искомая квазиоптимальная последовательность элементов формируется по убыванию значения Π для каждого элемента, в результате чего получаем множество $G = \{ g_v \}$, где $v = 1, 2, \dots, n$ – номер элемента в квазиоптимальной последовательности. Если значение n окажется дробным, то производится округление для всех v в одну сторону до целого числа.

Следует отметить, что вместо принятой двоичной системы оценок показателей β и α возможна и другая система, имеющая несколько ступеней различия, которая позволила бы более глубоко дифференцировать анализ элементов. Последнее может быть достигнуто и при расширении системы характеристик состояния элемента. Вопрос выбора той или иной системы оценок показателей, характеристик состояния зависит от наличия необходимой исходной информации, затрат на получение и эффекта от ее использования.

При образовании равных рангов (соответствующих равным значениям функции предпочтения) «конфликт» разрешается несколькими способами: формированием резервной функции предпочтения, основанной на использовании какого-либо характерного для элемента показателя или системы показателей более глубокого уровня детализации; расположением элементов подряд один за другим по мере установления ранга; использованием дополнительных целевых критериев при формировании целевых последовательностей.

Квазиоптимальная последовательность элементов является основой построения целевых последовательностей, которые определяют весь ход дальнейших исследований и обеспечивают при решении конкретных задач получение приемлемого результата. Спектр возможных вариантов конкретных задач зависит от матрицы целей, один из видов которой показан в табл. 2.3.

Поясним образование целевой последовательности элементов и порядок проведения работ по совершенствованию энергоиспользования условным примером.

Пусть требуется получить заданную экономию теплоты ($Q_{\Sigma} \geq \sum^k Q_i$ - см. табл. 2.3) при капитальных затратах, не превышающих заданного значения ($S_{\Sigma} \geq \sum^k S_i$) к известному моменту времени ($\tau_{\Sigma} \geq \sum^k \tau_i$). Начиная с первого элемента квазиоптимальной последовательности, отмечаем те, на которых в принципе возможна экономия теплоты (с учетом возможной замены энергоносителя), в результате чего после перенумерации элементов будем иметь целевую последовательность из n элементов (цель — получить заданную экономию теплоты). «Эффективная длина» этой последовательности, равная k элементам, получается следующим образом. Начиная с первого элемента, на каждом определяем возможную экономию теплоты за счет проведения различных мероприятий. Рассматривается по порядку такое количество элементов, чтобы суммарная экономия на этих элементах составила $Q_{\Sigma} \geq \sum^k Q_i$. При этом на всех k элементах, начиная с первого, планируется проведение работ по совершенствованию учета, составлению и анализу энергобалансов, корректировке норм расхода энергоресурсов, разработке технических решений и др.

Отбор мероприятий по экономии энергоносителя на элементе может быть проведен с использованием изложенного эвристико-кибернетического подхода. В ходе решения задачи может оказаться, что при выполнении условия по экономии теплоты капитальные затраты или время достижения эффекта превысят заданные. В этом случае пропускаются $(k - 1)$ -й, k -й элементы (или оба), делается «пробное движение вниз по последовательности» (относительно линии «итого...») на необходимое число элементов и проверяется выполнение всех условий. Вторичное невыполнение условий говорит о некорректности поставленной задачи. Производится возврат к k элементам и вводятся необходимые изменения в постановку задачи.

Таблица 2.2. Характеристика возможного состояния элемента

Характеристика элемента	α'_{ij}	β'_{ij}
Снижение расхода энергоресурсов: возможно при реконструкции: существенной несущественной невозможно	1,0 0	 0,5 1,0
Замена энергоресурса: возможна: одного вида другим более одного вида другими невозможна	1,0 0	 0,5 1,0
Перевод схемы энергоснабжения на ВЭР: возможен при реконструкции: существенной несущественной невозможен	1,0 0	 0,5 1,0
Более полное использование ВЭР: возможно с применением оборудования: специально изготовленного серийно выпускаемого невозможно	1,0 0	 0,5 1,0
Упорядочение режима работы: возможно при затратах: существенных несущественных невозможно	1,0 0	 0,5 1,0
Совершенствование системы возврата конденсата: возможно при реконструкции: существенной несущественной невозможно или заведомо нецелесообразно	1,0 0	 0,5 1,0
Использование в качестве потребителя-регулятора: возможно при проведении мероприятий: существенных несущественных невозможно	1,0 0	 0,5 1,0

Продолжение табл. 2.2

Характеристика элемента	α'_{ij}	β'_{ij}
Экономия дефицитного топлива: возможна при реконструкции: существенной несущественной невозможна	1,0 0	 0,5 1,0
Приборы учета и (или) контроля расхода энергоресурсов повышенной точности: необходимы: дефицитные недефицитные не нужны или отсутствуют	1,0 0	 0,5 1,0
Снижение расхода энергоресурсов при проведении организационной работы: возможно при мероприятиях: существенных несущественных невозможно	1,0 0	 0,5 1,0
Мероприятия по экономии энергоресурсов требуют затрат: существенных несущественных значительных	1,0 0	 0,5 1,0
Экономия используемых энергоресурсов: возможна: несущественная существенная невозможна	1,0 0	 0,5 1,0
На себестоимость конечной продукции: влияет: несущественно существенно не влияет	1,0 0	 0,5 1,0

Окончание табл. 2.2

Характеристика элемента	α'_{ij}	β'_{ij}
При проведении энергосберегающих мероприятий сопутствующий технологический эффект: возможен: несущественный существенный отсутствует	1,0 0	0,5 1,0
Исключение вредных выбросов в окружающую среду: возможно при установке оборудования: специально изготовленного серийно выпускаемого невозможно	1,0 0	0,5 1,0

Таблица 2.3. Матрица целей

Номер элемента в последовательности		Экономия энергоресурсов и энергоносителя				Капитальные вложения	Эксплуатационные расходы	Время достижения эффекта
квaziоптимальной	целевой	топлива	электрической энергии	тепловой энергии	суммарного энергоносителя			
1	1	-	-	Q_1	-	S_1	I_1	τ_1
2	2	-	-	Q_2	-	S_2	I_2	τ_2
...
6	k-10	-	-	Q_{k-10}	-	S_{k-10}	I_{k-10}	τ_{k-10}
...
21	k-2	-	-	Q_{k-2}	-	S_{k-2}	I_{k-2}	τ_{k-2}
...
...	k	-	-	Q_k	-	S_k	I_k	τ_k
Итого для	k элементов	-	-	$\sum^k Q_i$	-	$\sum^k S_i$	$\sum^k I_i$	$\sum^k \tau_i$
...
...
...	n ₁	...	...	...	...	...	...	...
n				Q_{n_1}		S_{n_1}	I_{n_1}	τ_{n_1}

3 ОБСЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ С ЦЕЛЮ СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОЕМКОСТИ

(Пример решения задачи эвристическим методом)

1. Декомпозиция технологического процесса (рис. 3.1). Образование исходного множества элементов в нашем случае будет состоять в разбиении всего комплекса станков и оборудования на отдельные единицы и формирование целевой последовательности элементов (технологической линии).

2. Агрегатирование элементов. Объединение операций механической обработки (при их малых различиях).

3. Каждый элемент (станок, печь, группа оборудования) рассматривается с точки зрения выполнения общей задачи – снижение потребления энергоресурсов.

Формирование квазиоптимальной и целевой последовательности элементов проводим следующим образом.

Заданное множество элементов $G = \{ g_i \}$ в нашем случае будет представлено в виде табл. 3.1.

Таблица 3.1. Множество элементов

№ эл-та "i"	№ операции	Наименование (код) i-го элемента	Оборудование
1	1	Заготовительные операции	Заготовительный цех
2	2	Нагрев под ковку	Печь среднетемпературная, газовая
3	3	Ковка	Пневмомолот
4	4,5,6,8, 11	Механическая обработка	Станки металлообрабатывающие (токарные, сверлильные, фрезерные)
5	9,10	Термическая обработка	Печь электрическая, закалочная ванна
6	12	Обработка холодом	Холодильная камера

Общий вектор исходного состояния (существующего энергопотребления) всех элементов рассчитывается следующим образом:

$$Z^0 = X^0 Y^0, \quad (3.1)$$

где $X^0 = \{x_i^0\}$ и $Y^0 = \{y_i^0\}$ – соответственно корректирующий и основной векторы исходного состояния элементов;

$x_i^0 = \sum_{j=1}^m q_{ij}^0$ – общая функция исходного состояния i -го элемента; j и m – соответственно вид и число состояний элемента;

$y_i^0 = \vartheta_i^0 / \sum_{i=1}^n \vartheta_i^0$ – основная функция исходного состояния i -го элемента (доля энергопотребления i -го элемента относительно общих энергозатрат во всем технологическом процессе;

ϑ_i^0 – основной абсолютный показатель i -го элемента (в нашем случае общее за год энергопотребление элемента).

Функция исходного j -го состояния i -го элемента определяется по формуле

$$q_{ij}^0 = \alpha_{ij}^0 \beta_{ij}^0, \quad (3.2)$$

где α_{ij}^0 и β_{ij}^0 – соответственно весовой коэффициент показателя исходного j -го состояния i -го элемента и сам показатель. При этом

$$\beta_{ij}^0 = \begin{cases} 0 \\ 1 \end{cases}; \quad \alpha_{ij}^0 \Big|_{\beta_{ij}^0 = 1} = \begin{cases} 0 \\ 1 \end{cases}.$$

α_{ij}^0 и β_{ij}^0 выбираем из табл. 3.2 и по их значениям определяем функцию $q_{ij}^0 = \alpha_{ij}^0 \beta_{ij}^0$ для каждого элемента.

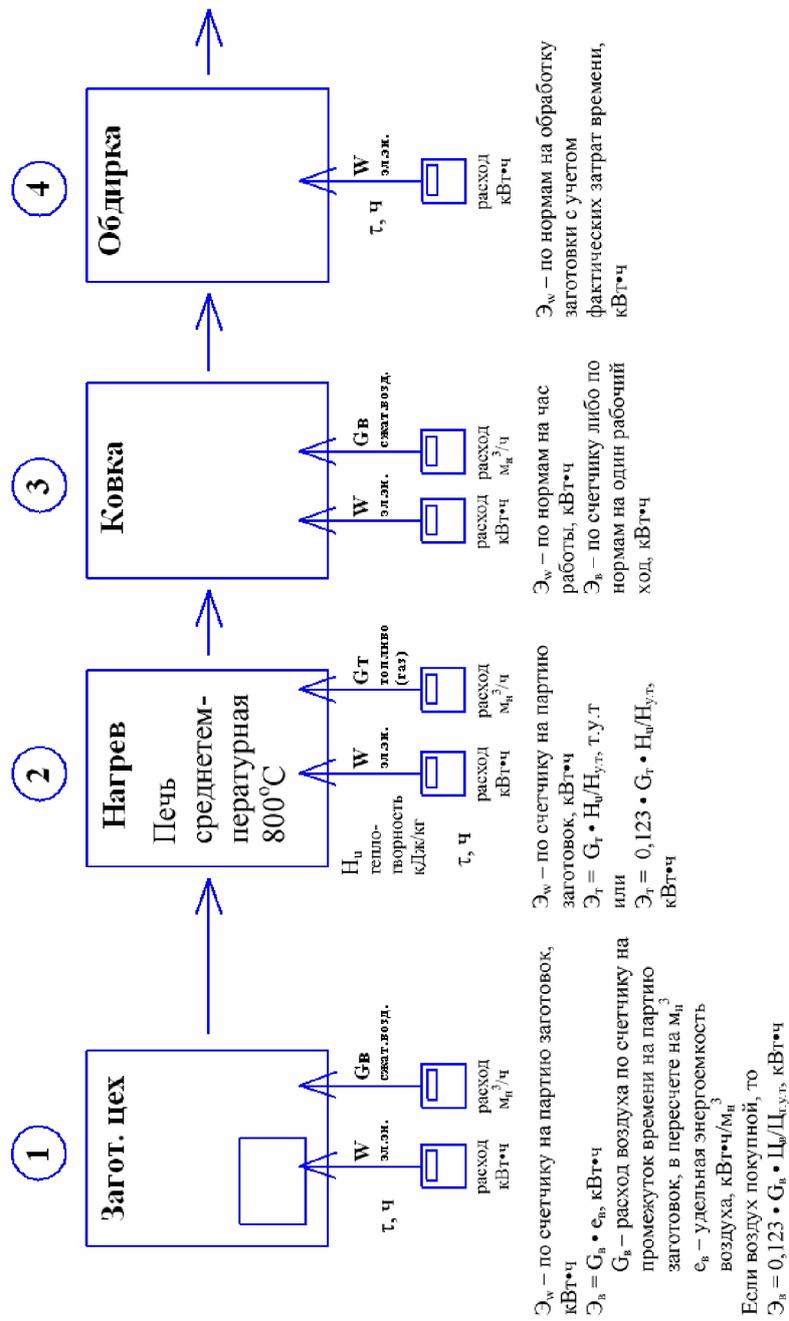


Рис. 3.1. Схема технологического процесса изготовления детали (начало)

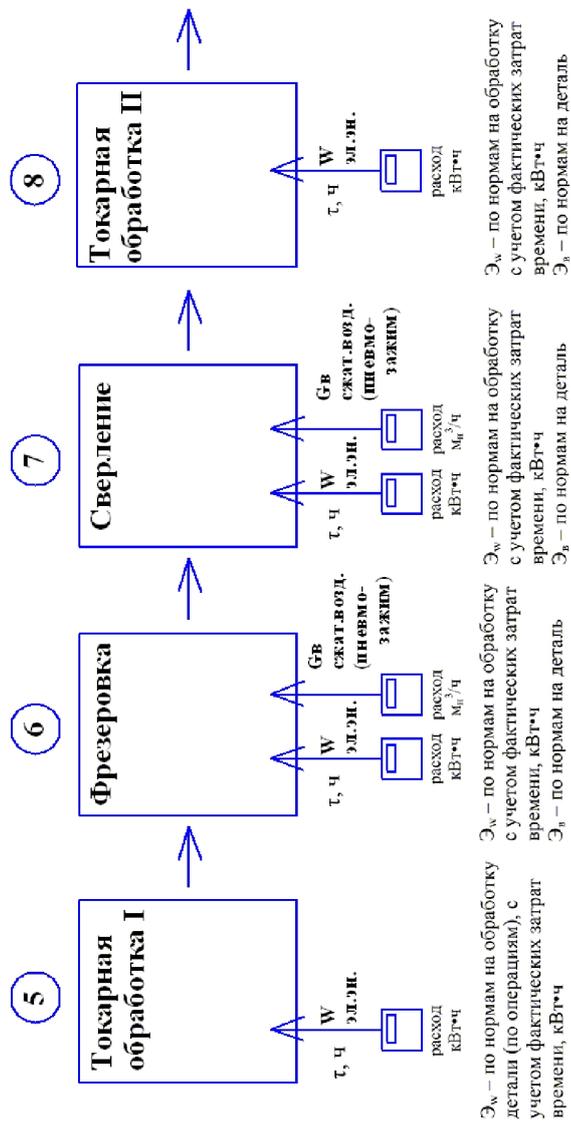


Рис. 3.1. Схема технологического процесса изготовления детали (продолжение)

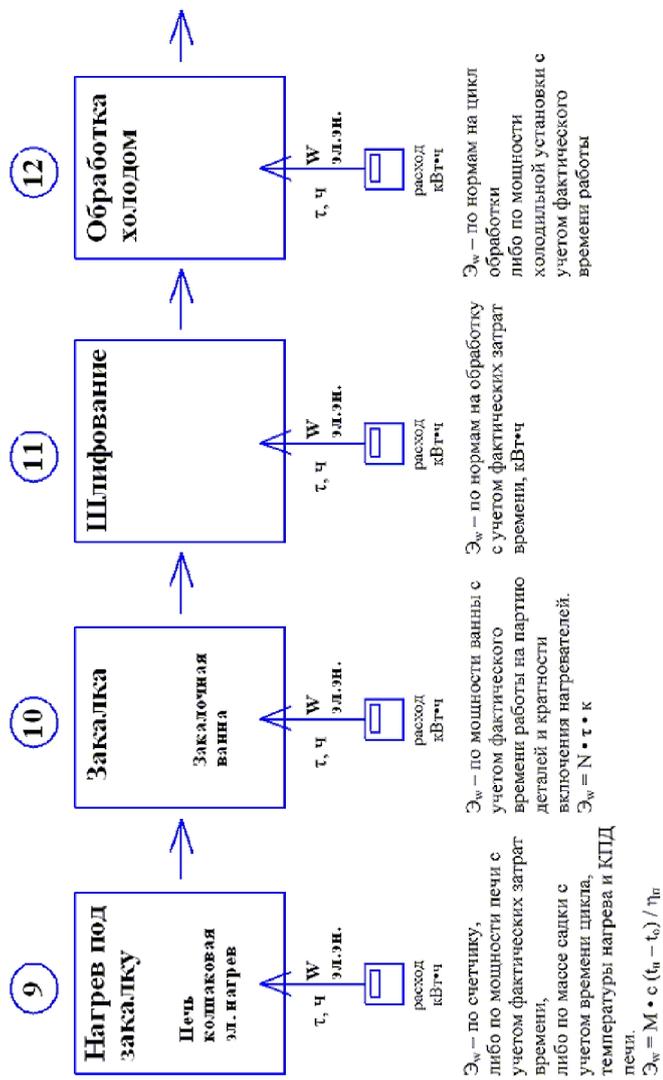


Рис.3.1. Схема технологического процесса изготовления детали (окончание)

Таблица 3.2. Характеристика исходного состояния элемента

Характеристика элемента	α_{ij}^0	β_{ij}^0
Элемент: новый устаревший: модернизируется не модернизируется	0 1,0	0,5 1,0
Изготовление: специальное серийное в количестве: несущественном существенном	0 1,0	0,5 1,0
Производство: вспомогательное основное влияние на качество конечной продукции: несущественное существенное	0 1,0	0,5 1,0
Остановка: без ущерба с ущербом: несущественным существенным	0 1,0	0,5 1,0
Энергоносители: не используются используются: одного вида более одного	0 1,0	0,5 1,0
Экономия энергоресурсов возможна: в одном направлении (пассивный элемент) в различных (активный элемент) : два направления более двух	0 1,0	0,5 1,0

Продолжение табл. 3.2

Характеристика элемента	α_{ij}^0	β_{ij}^0
Режим работы: номинальный переменный с повышением удельного расхода энергоресурсов: несущественным существенным	0 1,0	0,5 1,0
Конденсат: не подлежит возврату (не образуется) возвращается: существенно недостаточно	0 1,0	0,5 1,0
Потребитель-регулятор: не является является: существенная экономия энергоносителя несущественная	0 1,0	0,5 1,0
Агрегат-источник ВЭР: не является является: с рекуперацией с возможной рекуперацией	0 1,0	0,5 1,0
Потребитель ВЭР: не является является: существенное использование ВЭР несущественное	0 1,0	0,5 1,0
Приборы учета и (или) контроля расходов энергоресурсов: имеются не имеются: используется расчетный способ учета не используется	0 1,0	0,5 1,0

Характеристика элемента	α_{ij}^0	β_{ij}^0
Научно обоснованная норма расхода энергоресурсов: разработана и корректируется отсутствует: разрабатывается не разрабатывается	0 1,0	0,5 1,0
Составление и анализ энергобалансов: проводится периодически практически не проводится: устаревшие данные данные отсутствуют	0 1,0	0,5 1,0
Вредные выбросы в окружающую среду: отсутствуют имеют место: обезвреживаются не обезвреживаются	0 1,0	0,5 1,0

Данные сводим в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Элемент	$x_i^0 = \sum_{j=1}^m q_{ij}^0$	\mathfrak{E}_i^0 , кВт•ч	$y_i^0 = \mathfrak{E}_i^0 / \sum_{i=1}^n \mathfrak{E}_i^0$	$z_i^0 = x_i^0 y_i^0$	$K_i^0 = z_i^0 / \sum_{i=1}^n z_i^0$	Приоритет
1	2	3	4	5	6	7
1 Загот. цех	1+0,5+1+0,5+1+ +1+1+0+1+0+0,5+ +0,5+0+0,5+0,1= =9,5	5,5	5,5/24=0,229	0,229×9,5= =2,18	0,31	1
2 Печь газ.	0,5+0,5+1+1+ +0,5+0,5+0,5+0+ +1+1+0+0+0+0,5+ +0,5=7,5	5,0	5,0/24=0,208	0,208×7,5= =1,56	0,22	2

Элемент	$x_i^0 = \sum_{j=1}^m q_{ij}^0$	ϑ_i^0 , кВт•ч	$y_i^0 = \vartheta_i^0 / \sum_{i=1}^n \vartheta_i^0$	$z_i^0 = x_i^0 y_i^0$	$K_i^0 = z_i^0 / \sum_{i=1}^n z_i^0$	Приоритет
1	2	3	4	5	6	7
3 Возд. молот	0,5+1+1+1+0,5+ +0+0+0+0+0+0+ +0+0+0,5+0=4,5	3,5	3,5/24=0,146	0,146×4,5= =0,66	0,09	5
4 Станки	0,5+1+1+1+0,5+ +0,5+0,5+0+1+ +0,5+0+0+0+0,5+ +0=7	2,0	2,0/24=0,083	0,083×7= =0,58	0,08	6
5 Печь электр.	0,5+0,5+1+1+1+ +0,5+0,5+0+1+ +0,5+1+1+0+0+ +0,5+0=8	4,0	4,0/24=0,167	0,167×8= =1,33	0,19	3
6 Холод. камера	0,5+0,5+1+1+0,5+ +0+0+0+0+1+0+ +0+0+0,5+0=5	4,0	4,0/24=0,167	0,167×5= =0,83	0,12	4

Аналогично изложенному выше определяется вектор значимости уровней возможного состояния элементов $K' = \{k'_i\}$, где коэффициент значимости уровня возможного состояния элемента находится в соответствии с выражением

$$k'_i = z'_i / \sum_{i=1}^n z'_i, \quad (3.3)$$

где

$$z'_i = x'_i y'_i; \quad x'_i = \sum_{j=1}^{m'} q'_{ij}; \quad y'_i = \frac{\vartheta'_i}{\sum_{i=1}^n \vartheta'_i}$$

$$q'_{ij} = \alpha'_{ij} \beta'_{ij}; \quad \beta'_{ij} = \begin{cases} 0 \\ 1 \end{cases}; \quad \alpha'_{ij} \Big|_{\beta'_{ij}=1} = \begin{cases} 0 \\ 1 \end{cases}.$$

α'_{ij} и β'_{ij} выбираем из табл. 3.4 и по их значениям определяем функцию $q'_{ij} = \alpha'_{ij} \beta'_{ij}$ для каждого элемента.

Таблица 3.4. Характеристика возможного состояния элемента

Характеристика элемента	α'_{ij}	β'_{ij}
Снижение расхода энергоресурсов: возможно при реконструкции: существенной несущественной невозможно	1,0 0	 0,5 1,0
Замена энергоресурса: возможна: одного вида другим более одного вида другими невозможна	1,0 0	 0,5 1,0
Перевод схемы энергоснабжения на ВЭР: возможен при реконструкции: существенной несущественной невозможен	1,0 0	 0,5 1,0
Более полное использование ВЭР: возможно с применением оборудования: специально изготовленного серийно выпускаемого невозможно	1,0 0	 0,5 1,0

Характеристика элемента	α'_{ij}	β'_{ij}
Упорядочение режима работы: возможно при затратах: существенных несущественных невозможно	1,0 0	 0,5 1,0
Совершенствование системы возврата конденсата: возможно при реконструкции: существенной несущественной невозможно или заведомо нецелесообразно	1,0 0	 0,5 1,0
Использование в качестве потребителя-регулятора: возможно при проведении мероприятий: существенных несущественных невозможно	1,0 0	 0,5 1,0
Экономия дефицитного топлива: возможна при реконструкции: существенной несущественной невозможна	1,0 0	 0,5 1,0
Приборы учета и (или) контроля расхода энергоресурсов повышенной точности: необходимы: дефицитные недефицитные не нужны или отсутствуют	1,0 0	 0,5 1,0
Снижение расхода энергоресурсов при проведении организационной работы: возможно при мероприятиях: существенных несущественных невозможно	1,0 0	 0,5 1,0
Мероприятия по экономии энергоресурсов требуют затрат: существенных несущественных значительных	1,0 0	 0,5 1,0

Характеристика элемента	α'_{ij}	β'_{ij}
Экономия используемых энергоресурсов: возможна: несущественная существенная невозможна	1,0 0	 0,5 1,0
На себестоимость конечной продукции: влияет: несущественно существенно не влияет	1,0 0	 0,5 1,0
При проведении энергосберегающих мероприятий сопутствующий технологический эффект: возможен: несущественный существенный отсутствует	1,0 0	 0,5 1,0
Исключение вредных выбросов в окружающую среду: возможно при установке оборудования: специально изготовленного серийно выпускаемого невозможно	1,0 0	 0,5 1,0

Данные сводим в табл. 3.5.

Квазиоптимальную последовательность элементов формируем с помощью упрощенной формулы функции предпочтения, имеющей вид

$$P = (R_i^0 + R_p^i) / 2, \quad (C_i = C_p = 0,5), \quad (3.4)$$

где R_i^0 и R_p^i - соответствующие ранги элемента в последовательностях исходного и возможного состояний (номера мест, занимаемых одним и тем же элементом в обеих последовательностях); C_i и C_p - вес (вероятность) соответственно исходного и возможного состояния элемента.

Таблица 3.5

Элемент	$x'_i = \sum_{j=1}^m q'_{ij}$	Θ'_i	$y'_i = \Theta'_i / \sum_{i=1}^n \Theta'_i$	$z'_i = x'_i y'_i$	$K'_i = z'_i / \sum_{i=1}^n z'_i$	Приоритет
1	2	3	4	5	6	7
1 Загот. цех	0,5+0,5+0+ +0,5+1+0+ +0,5+0,5+1+ +1+1+0,5+ +0,5+0,5+1+ +1+=9	5,0	0,239	2,151	0,25	2
2 Печь газ.	0,5+1+1+1+ +1+0+1+1+ +1+1+1+0,5+ +0,5+0,5+ +1=12	4,2	0,201	2,412	0,28	1
3 Возд. молот	0,5+0+0+0+ +1+0+1+0,5+ +1+0,5+0,5+ +0,5+0,5+ +0,5+0=6,5	3,0	0,144	0,936	0,12	4
4 Станки	1+0+0+0+1+ +0+1+0+1+ +1+1+0,5+1+ +0,5+0=8	1,9	0,091	0,728	0,08	6
5 Печь электр.	0,5+0,5+1+ +1+1+0,5+0+ +0+1+1+0,5+ +0,5+0,5+ +0,5+0,5=9	3,6	0,172	1,548	0,18	3

Элемент	$x'_i = \sum_{j=1}^m q'_{ij}$	\mathcal{E}'_i	$y'_i = \mathcal{E}'_i / \sum_{i=1}^n \mathcal{E}'_i$	$z'_i = x'_i y'_i$	$K'_i = z'_i / \sum_{i=1}^n z'_i$	Приоритет
1	2	3	4	5	6	7
6 Холод. камера	0,5+0+0+0+ +1+0,5+0+1+ +1+0,5+0,5+ +0,5+0,5+0= =6	3,2	0,153	0,918	0,11	5

Рассчитывая по указанной формуле параметр П, заносим данные в табл. 3.6.

Таблица 3.6

№	Наименование элемента	$\Pi = (R'_i + R^0_i) / 2$
1	Заготовительный цех	1,5 ≈ 1
2	Печь среднетемпературная газовая	1,5 ≈ 2
3	Воздушный молот	4,5 ≈ 4
4	Станки металлообрабатывающие	6
5	Печь электрическая	3
6	Холодильная камера	4,5 ≈ 5

Далее выстраиваем последовательность в соответствии с функцией приоритета П, т.е. по мере его убывания, и заносим в табл. 3.7.

Как видно из полученной приоритетной последовательности, наиболее целесообразным является начало энергосберегающих мероприятий с заготовительного цеха или печи среднетемпературной газовой.

Конечным результатом данной оценки будет являться матрица целей (табл. 3.8), где помимо самой квазиоптимальной последовательности будут присутствовать статьи капитальных вложений, касающихся реализации энергосберегающих мероприятий, эксплуатационных расходов, времени достижения планируемого эффекта.

Таблица 3.7

$\Pi = (R_i^0 + R_p')/2$	№	Наименование элемента
1	1	Заготовительный цех
2	2	Печь среднетемпературная газовая
3	5	Печь электрическая
4	3	Воздушный молот
5	6	Холодильная камера
6	4	Станки металлообрабатывающие

Таблица 3.8. Матрица целей

Номер элемента в последовательности		Экономия энергоресурсов и энергоносителя				Капитальные вложения	Эксплуатационные расходы	Время достижения эффекта
квaziоптимальной	целевой	топлива	электрической энергии	тепловой энергии	суммарного энергоносителя			
1	1	-	-	Q_1	-	S_1	I_1	τ_1
2	2	-	-	Q_2	-	S_2	I_2	τ_2
3	5	...	...	...	...	...	...	...
4	3	...	...	...	...	...	...	...
5	6	-	-	...	-	...	...	...
6	4	...	...	Q_k	...	S_k	I_k	τ_k

4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГОЗАТРАТ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ ПРОИЗВОДСТВА ДЕТАЛЕЙ НА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОМ ПРЕДПРИЯТИИ

На рис.3.1 представлена схема технологического процесса производства детали. Технологическая цепочка включает в себя 12 позиций: 1-я укрупненная позиция выделена как заготовительный цех, остальные представлены конкретными операциями обработки детали.

Потребляемыми энергоресурсами являются:

- электроэнергия (на всех этапах) – \mathcal{E}_w , кВт·ч ;
- топливо – газ (в среднетемпературной печи нагрева) – \mathcal{E}_t , т.у.т. (тонна условного топлива);
- сжатый воздух (пневмоинструмент, воздушный молот) – $\mathcal{E}_в$, м³;
- тепло (отопление и горячее водоснабжение цеха) – $\mathcal{E}_{тепл}$, Гкал (кВт·ч).

Целью анализа для данной технологической линии является определение фактического энергопотребления и соответственно оценки энергоемкости продукции.

Полученные значения энергоемкости сравниваются с аналогичными данными предыдущего периода и данными по аналогичным производствам в отрасли.

При обследовании производятся замеры расходов энергоносителей по приборам (при их наличии), т.е. они определяются по счетчику, на партию деталей – \mathcal{E}_w , кВт·ч (или одну деталь).

Если приборы отсутствуют или измерение невозможно выполнить по той или иной причине, то энергопотребление оценивается по мощности оборудования с учетом коэффициента загрузки, времени работы, степени износа и т.п.

Для сжатого воздуха используются следующие расчетные формулы:

$$\mathcal{E}_в = G_в \cdot e_в \text{ [кВт·ч]}, \quad (4.1)$$

где $G_в$ – расход воздуха по расходомеру на промежуток времени на

партию заготовок, в пересчете на m_n^3 ; e_b – удельная энергоёмкость воздуха, $\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}_n^3$.

Если воздух покупной, то энергоёмкость определяется по следующей формуле:

$$\mathcal{E}_b = 0,123 \cdot G_b \cdot \mathcal{C}_b / \mathcal{C}_{т.у.т} [\text{кВт}\cdot\text{ч}], \quad (4.2)$$

где \mathcal{C}_b , $\mathcal{C}_{т.у.т}$ стоимость 1м^3 сжатого воздуха и 1 тонны условного топлива соответственно.

Для топлива, используемого в процессе производства, применяются следующие расчетные формулы:

$$\mathcal{E}_t = G_t \cdot H_u / H_{у.т}, \text{ т.у.т} \quad (4.3)$$

или

$$\mathcal{E}_t = 0,123 \cdot G_t \cdot H_u / H_{у.т}, \text{ кВт}\cdot\text{ч} \quad (4.4)$$

где H_u , $H_{у.т}$ – теплотворные способности топлива и условного топлива $[\text{Дж}/\text{кг}]$.

Энергоёмкость в процессе подготовки под закалку определяется либо по мощности печи с учетом фактических затрат времени, либо по массе садки с учетом времени цикла, температуры нагрева и КПД:

$$\mathcal{E}_w = M \cdot c \cdot (t_n - t_o) / \eta_n, \quad (4.5)$$

где M – масса садки, c – теплоёмкость материала заготовок, t_n , t_o – температура нагрева и начальная температура заготовок, η_n – КПД печи.

Энергоёмкость процесса закалки определяется мощностью P ванны с учетом фактического времени работы на партию деталей τ и кратности включения нагревателей K :

$$\mathcal{E}_w = P \cdot \tau \cdot K. \quad (4.6)$$

Параллельно затраты ТЭР определяются по нормативам для каждой операции. Результаты представляются в виде полных затрат энергии по видам на партию продукции, удельных затрат на единицу продукции, удельных затрат в денежном выражении по видам ТЭР и удельных затрат в единых энергетических единицах. Для этого используются формулы (4.6) – (4.8).

Последняя форма представления не подвержена конъюнктуре та-

рифов и является, по сути, самой объективной характеристикой.

Периодическое проведение подобного анализа по технологическим цепочкам, цехам, производствам и предприятию в целом дает возможность проводить правильную энергетическую политику, что относится к функциям служб энергоменеджмента.

Формулы расчета энергозатрат на единицу продукции:

$$\begin{aligned}
 e_w &= \frac{\mathcal{E}_w}{N}, \quad \frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{ед.}} \\
 e_T &= \frac{\mathcal{E}_T}{N}, \quad \frac{\text{т.у.т}}{\text{ед.}}, \\
 e_e &= \frac{\mathcal{E}_e}{N}, \quad \frac{\text{М}^3}{\text{ед.}} \\
 e_{\text{тепл}} &= \frac{\mathcal{E}_{\text{тепл}}}{\sum N_m}, \quad \frac{\text{ГКал}}{\text{ед.}}
 \end{aligned} \tag{4.7}$$

где N – количество деталей в партии, $\sum N_m$ – количество всего номенклатурного ряда деталей, выпускаемых одновременно с исследуемой партией деталей, для которых обследуется их технологический процесс.

Формулы расчета энергозатрат на единицу продукции в денежном выражении по тарифам потребителя:

$$\begin{aligned}
 e'_w &= \frac{\mathcal{E}_w \cdot p_{\text{эл}}}{N}, \quad \frac{\text{руб.}}{\text{ед.}} \\
 e'_T &= \frac{\mathcal{E}_T \cdot p_T}{N}, \quad \frac{\text{руб.}}{\text{ед.}}, \\
 e'_e &= \frac{\mathcal{E}_e \cdot p_e}{N}, \quad \frac{\text{руб.}}{\text{ед.}} \\
 e'_{\text{тепл}} &= \frac{\mathcal{E}_{\text{тепл}} \cdot p_{\text{тепл}}}{\sum N_m}, \quad \frac{\text{руб.}}{\text{ед.}}
 \end{aligned} \tag{4.8}$$

где $p_{\text{эл}}$, p_T , p_e , $p_{\text{тепл}}$ – тарифы на электроэнергию, топливо, сжатый воздух и отопление соответственно.

Полная энергоемкость на единицу продукции в денежном выражении по текущим тарифам определяется выражением

$$e'_{\Sigma} = e'_w + e'_T + e'_e + e'_{\text{тепл}}. \quad (4.9)$$

Полная энергоемкость в энергетических единицах рассчитывается следующим образом:

$$e_{\Sigma_{T.УТ}} = 0,123 \cdot e_w + e_T + e_e \frac{P_e}{Ц_{ум}} + e_{\text{тепл}}, \quad \frac{т.у.т}{ед.}; \quad (4.10)$$

$$e_{\Sigma_{кВт\cdotч}} = e_w + e_T + e_e \frac{P_e}{0,123 \cdot Ц_{ум}} + e_{\text{тепл}}, \quad \frac{кВт\cdotч}{ед.}.$$

На основании данных, полученных при помощи такого анализа энергоэкономических показателей, могут быть выявлены наиболее проблемные и в то же время перспективные, с точки зрения энергосбережения, элементы производственного цикла.

Данная методика позволяет проводить энергообследование на достаточно высоком качественном уровне, не прибегая к детальному изучению элементов технологического процесса. При этом исключается появление ошибочных выводов относительно постановки задачи энергосберегающих мероприятий. В табл. 4.1 и 4.2 представлены индивидуальные задания по расчету энергоемкости единицы продукции в соответствующих технологических процессах.

Таблица 4.1

Вариант			1	2	3	4	5	6	
Кол-во деталей, шт.			100	50	140	160	200	10	
Позиция обработки детали (участок обработки)	1	Заготов. цех	Эл. энергия	3,5 кВт·ч	18,5кВт·ч	6,5 кВт·ч	12 кВт·ч	25кВт·ч	-
			Время, мин.	30	10	25	19	48	-
			Сжат. воздух	22 м ³	31 м ³	15 м ³	0,5м ³ /дет.	89 м ³	-
	2	Термич. обраб.	Эл. энергия	-	2,1 кВт·ч	11,1 кВт·ч	8,6кВт·ч	-	37 кВт·ч
			Время, мин.	-	20	18	28	-	50
			Топливо	-	100 кг	180 кг	75 кг	-	120 кг
	3	Ковка	Эл. энергия	5,7 кВт·ч	-	15 кВт·ч	7,7 кВт·ч	12кВт·ч	8,7 кВт·ч
			Время, мин.	15	-	20	10	45	25
			Сжат. воздух	30 м ³	-	100 м ³	45 м ³	65 м ³	20 м ³
	4	Обдирка	Эл. энергия	6,5 кВт·ч	25 кВт·ч	-	12,5кВт·ч	24кВт·ч	6,5кВт·ч
			Время, мин.	30	25	-	45	5	30
	5	Токарн. обраб. I	Эл. энергия	10 кВт·ч	41 кВт·ч	40 кВт·ч	23 кВт·ч	60 кВт·ч	12 кВт·ч
			Время, мин.	30	16	22	14	48	20
	6	Фрезеровка	Эл. энергия	5 кВт·ч	15 кВт·ч	11 кВт·ч	-	15 кВт·ч	-
			Время, мин.	42	35	25	-	21	-
			Сжат. воздух	0,2м ³ /дет.	0,6м ³ /дет.	12м ³	-	0,6м ³ /дет.	-
	7	Сверление	Эл. энергия	-	14,5кВт·ч	25 кВт·ч	16 кВт·ч	9,5 кВт·ч	28,5 кВт·ч
			Время, мин.	-	14	5	25	5	15
			Сжат. воздух	-	0,1м ³ /дет.	0,05м ³ /дет.	0,6м ³ /дет.	0,4м ³ /дет.	6м ³
	8	Токарн. обраб. II	Эл. энергия	18 кВт·ч	35 кВт·ч	-	8 кВт·ч	42 кВт·ч	28кВт·ч
			Время, мин.	12	21	-	7	19	22

9	Нагрев под закалку	Эл. энергия	12 кВт·ч	18 кВт·ч	46 кВт·ч	10 кВт·ч	32 кВт·ч	65кВт·ч
		Время, мин.	85	60	120	25	35	25
10	Закалка	Эл. энергия	8 кВт·ч	17 кВт·ч	8 кВт·ч	8 кВт·ч	28 кВт·ч	24кВт·ч
		Время, мин.	45	60	70	50	45	25
11	Шлифование	Эл. энергия	3,4 кВт·ч	4,8 кВт·ч	6 кВт·ч	3,4 кВт·ч	87кВт·ч	17 кВт·ч
		Время, мин.	20	24	10	15	30	16
12	Обработка холодом	Эл. энергия	15 кВт·ч	-	80кВт·ч	100 кВт·ч	-	45кВт·ч
		Время, мин.	50	-	30	15	-	10

Таблица 4.2

Вариант		7	8	9	10	11	12		
Кол-во деталей, шт.		300	60	250	500	80	17		
Позиция обработки детали (участок обработки)	1	Заготов. цех	Эл. энергия	7кВт·ч	6кВт·ч	22кВт·ч	-	4,5кВт·ч	1кВт·ч
			Время, мин.	40	15	21	-	40	10
			Сжат. воздух	52м ³	28м ³	55м ³	-	14м ³	6м ³
	2	Термич. обраб.	Эл. энергия	9,6кВт·ч	11кВт·ч	23кВт·ч	4,1кВт·ч	26кВт·ч	8кВт·ч
			Время, мин.	38	19	33	45	10	30
			Топливо	80 м ³	15 м ³	30 м ³	25 м ³	40 м ³	65 м ³
	3	Ковка	Эл. энергия	23кВт·ч	21,2кВт·ч	13кВт·ч	9кВт·ч	5,9кВт·ч	15кВт·ч
			Время, мин.	25	25	45	66	35	24
			Сжат. воздух	24 м ³	20 м ³	60 м ³	10 м ³	20 м ³	24 м ³
	4	Обдирка	Эл. энергия	5,5кВт·ч	10кВт·ч	13,5кВт·ч	9,5кВт·ч	13,5кВт·ч	4,5кВт·ч
			Время, мин.	25	11	12	7	32	40
	5	Токарн. обраб. I	Эл. энергия	14кВт·ч	-	10кВт·ч	13кВт·ч	20кВт·ч	40кВт·ч
			Время, мин.	30	-	25	40	20	25

6	Фрезеровка-	Эл. энергия	44кВт·ч	12кВт·ч	35кВт·ч	56кВт·ч	35кВт·ч	65кВт·ч
		Время, мин.	32	26	42	32	12	22
		Сжат. воздух	0,8м ³ /дет.	0,6м ³ /дет.	0,4м ³ /дет.	0,4м ³ /дет.	0,6м ³ /дет.	0,1м ³ /дет.
7	Сверление	Эл. энергия	14,5кВт·ч	19,5 кВт·ч	13,5кВт·ч	16,5кВт·ч	13,5кВт·ч	14кВт·ч
		Время, мин.	25	21	25	6	9	15
		Сжат. воздух	0,5м ³ /дет.	0,7м ³ /дет.	0,6м ³ /дет.	0,4м ³ /дет.	0,7м ³ /дет.	0,6м ³ /дет.
8	Токарн. обраб.П	Эл. энергия	-	68кВт·ч	73кВт·ч	13кВт·ч	38кВт·ч	16кВт·ч
		Время, мин.	-	42	26	16	45	68
9	Нагрев под закалку	Эл. энергия	13кВт·ч	44кВт·ч	-	44кВт·ч	-	52кВт·ч
		Время, мин.	41	35	-	65	-	35
10	Закалка	Эл. энергия	27кВт·ч	21кВт·ч	-	36кВт·ч	-	12кВт·ч
		Время, мин.	45	15	-	25	-	15
11	Шлифование	Эл. энергия	-	23кВт·ч	33кВт·ч	-	6,6кВт·ч	-
		Время, мин.	-	36	18	-	11	-
12	Обработка холодом	Эл. энергия	35кВт·ч	-	45кВт·ч	19кВт·ч	25кВт·ч	-
		Время, мин.	20	-	30	16	18	-

Заключение

В данном методическом пособии представлена методика оценки очередности проведения энергосберегающих мероприятий с применением математического эвристического метода оценки и расстановки приоритетов.

Данная методика позволяет проводить организацию и реализацию энергосберегающих мероприятий без детального изучения объекта обследования, взаимозависимости и взаимовлияния других элементов производства. Помимо этого методика исключает возникновение субъективного фактора, а следовательно, уменьшает вероятность возникновения ошибок.

Список литературы

1. Савицкая, Г.В. Анализ хозяйственной деятельности предприятия: учебник / Г.В. Савицкая – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: ИНФРА-М, 2005. – 425 с.
2. Аракелов, В.Е. Методические вопросы экономии энергоресурсов / В.Е. Аракелов, А.И. Кремер. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 192с.
3. Управление энергозатратами предприятия. – М.: Научно-производственное объединение «Радикал», 2005.
4. Аракелов, В.Е. Информационно-методическое обеспечение как элемент системы оптимального планирования и управления использованием энергетических ресурсов / В.Е. Аракелов, А.И. Кремер // XI Международная конференция по промышленной энергетике: сб. докл. – Берлин, 1984.
5. Методика составления и анализа энергетических балансов промышленных предприятий. – Л.: ЛИЭИ им. П. Тольятти, 1971.
6. Аракелов, В.Е. Анализ энергоиспользования на промышленных предприятиях / В.Е. Аракелов, А.И. Кремер // Промышленная энергетика. – 1982. – №5. – С. 2-6.
7. Бродянский, В.М. Эксергетический метод термодинамического анализа / В.М. Бродянский. – М.: Энергия, 1973.
8. Некрасов, А.С. Управление энергетикой предприятия / А.С. Некрасов, Ю.В.Синяк. – М.: Энергия, 1979.
9. Кремер, А.И. Методические вопросы обследования промышленных предприятий: сб. науч. тр. / А.И. Кремер. – М.: ВНИПИэнергопром, 1982.
10. Грачев, Ю.П. Совершенствование системы учета и расхода энергоресурсов на промышленных предприятиях / Ю.П. Грачев, И.И. Сидоров, А.И. Кремер // Эффективность использования топлива и энергии в промышленности: сб. науч. тр. – М.: ВНИПИэнергопром, 1981.

Учебное издание

Довгялло Александр Иванович
Довгялло Данила Александрович
Угланов Дмитрий Александрович

**МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА ДВИГАТЕЛЕЙ
ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

Учебное пособие

Редактор Т.К. Кретьнина
Доверстка А.В. Ярославцева

Подписано в печать 29.09.2008. Формат 60x84 1/16.
Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 3,25.
Тираж 50 экз. Заказ Арт. С – 15/2008.

Самарский государственный аэрокосмический университет.
443086 Самара, Московское шоссе, 34.

Изд-во Самарского государственного аэрокосмического университета.
443086 Самара, Московское шоссе, 34.