

# Энергоаудит. Лекции

## Прокопенко В.В., доц., к.т.н.

Институт энергосбережения и энергоменеджмента

### Содержание

1. ПОНЯТИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО АУДИТА.....	2
Основные этапы энергетического аудита.....	2
2. Методология энергетического аудита.....	7
2.1. Простой энергоаудит.....	7
2.2. комплексный энергоаудит.....	7
3. профиль использования энергии.....	9
3.1. РАСЧЕТ ПОТРЕБЛЕННОГО топлива.....	9
3.2. Интегрирование ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПЕРЕНОСНЫХ измерителей.....	10
3.3. ПРОВЕРОЧНЫЙ ТЕСТ.....	13
4. АНАЛИЗ ПОТОКОВ ЭНЕРГИИ.....	16
4.1. Системы вентиляции и кондиционирования.....	16
4.2. Системы охлаждения.....	19
4.3. Парогенерирующие котлы.....	20
4.4. Теплообменники.....	21
5. ОЦЕНКА ПОТРЕБЛЕНИЯ энергоресурсов.....	23
5.1 ОСВЕЩЕНИЕ.....	24
5.2 ЭЛЕКТРОПРИВОДЫ ВЕНТИЛЯТОРОВ И НАСОСОВ.....	25
5.3 ВОЗДУШНЫЕ И ХОЛОДИЛЬНЫЕ КОМПРЕССОРЫ.....	27
5.4 ДРУГИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДЫ и ОФИСНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ.....	28
5.5 ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЬНОЕ и ХОЛОДИЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ.....	29
5.6. ПАРОНАГРЕВАЕМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ.....	31
5.7. ГАЗОНАГРЕВАЕМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ.....	32
6. ПЕРЕКРЕСТНАЯ ПРОВЕРКА ДАННЫХ.....	34
6.1. ВХОДНОЙ/ВЫХОДНОЙ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ БАЛАНС.....	34
протребление заводом электроэнергии.....	34
6.2. ВХОДНОЙ/ВЫХОДНОЙ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ БАЛАНС.....	34
паровой котел.....	34
6.3. БАЛАНС МАССЫ пара и конденсата.....	35
6.4.ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ.мощность освещения и достигнутая освещенность.....	36
6.5 СРАВНЕНИЕ С ПОКАЗАТЕЛЯМИ РАБОТЫ.....	37
7. отчёт по энергоаудиту.....	38
7.1. некоторые общие рекомендации.....	38
7.2. ОПИСАНИЕ ЗАВОДА И ЗДАНИЙ.....	40
7.3 проведение ЭНЕРГОАУДИТА.....	42
7.4. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЮ.....	48
7.5. ПЕРЕКРЕСТНАЯ ПРОВЕРКА энергоСБЕРЕЖЕНИЙ.....	54
7.6. СБЕРЕЖЕНИЯ ПЕРВИЧНЫХ И ВТОРИЧНЫХ ЭНЕРГОресурсов.....	56
7.7. ПРЕДЕЛЬНАЯ СТОИМОСТЬ ТОПЛИВА.....	57
7.8. ЖИЗНЕСПОСОБНОСТЬ ПРОЕКТА.....	58
7.9. ОЦЕНКА РАСХОДОВ.....	59

## 1. ПОНЯТИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО АУДИТА

Под энергетическим аудитом будем понимать обследование предприятий, организаций и отдельных производств по их инициативе с целью определения возможностей экономии потребляемой энергии и помощи предприятию в осуществлении экономии на практике путем внедрения механизмов энергетической эффективности, а так же с целью внедрения на предприятии системы энергетического менеджмента.

Предметом энергетического аудита является система обследования потребления топлива и энергии, анализа и выдачи рекомендаций по эффективному использованию энергоресурсов.

Главной целью энергетического аудита является поиск возможностей энергосбережения и помощи субъектам хозяйствования в определении направлений эффективного энергоиспользования.

Объектом энергетического аудита может быть любое предприятие, энергетическая установка, здание, агрегат, потребляющий или вырабатывающий энергию.

Назначением энергетического аудита является решение следующих задач:

- составление карты использования объектом топливно-энергетических ресурсов;
- разработка организационных и технических мероприятий, направленных на снижение потерь энергии;
- определение потенциала энергосбережения;
- финансовая оценка энергосберегающих мероприятий.

Энергетический аудит проводится энергосервисными компаниями или независимыми экспертами (энергоаудиторами), которые уполномочены субъектами хозяйствования на его проведение.

Энергоаудитором может быть гражданин Украины, который получил профессиональную подготовку и имеет соответствующий документ. Эффективность и полнота энергетического обследования зависят от квалификации и опыта энергоаудитора.

Философия энергоаудита основывается на следующих основных посылах:

1. Энергоаудиторы должны обнаруживать факты, а не просто фиксировать ошибки;
2. Энергетические аудиты не должны проводиться скрытно (секретно).

Другие подходы не только устарели и маскируют плохую профессиональную подготовку, но и привносят в работу элементы фискального менталитета

Результаты, предоставляемые заказчику - это прежде всего отчет об энергетическом аудите, в котором определяются конкретные пути повышения эффективности использования топливно-энергетических ресурсов.

## ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО АУДИТА

I этап. Получение информации об объекте энергоаудита

- Сбор первичных данных о потреблении топлива, воды и электроэнергии за предыдущий и текущий годы.

Это дает возможность судить о направлениях в использовании топлива и энергии, определить тенденции в использовании топливно-энергетических

ресурсов, что является базой для определения технико-экономических показателей по объекту в целом.

- Анализ структуры энергопотребления.  
Это позволяет определить структуру энергоиспользования по объекту. Анализ структуры позволяет сформулировать стратегию энергоиспользования на перспективу.
- Анализ структуры затрат на энергию.  
Анализ долевых затрат различных видов энергии в общих затратах позволяет наметить предварительное направление энергетического аудита, обратив внимание на виды энергии с наибольшими долевыми затратами.
- Определение расхода энергоносителей на единицу выпускаемой продукции по предприятию и отдельным подразделениям.  
Это позволяет оценить удельный расход энергии на единицу выпускаемой продукции основного и вспомогательных производств в сравнении с аналогичными передовыми производствами, позволяет оценить долю стоимости энергоносителей в себестоимости продукции.

II этап. Изучение топливно-энергетических потоков по объекту в целом и отдельным подразделениям

- Изучение схемы технологического производства основного и процессов.  
В состав схемы входит исходная сырьевая база, последовательность отдельных технологических операций, их взаимосвязь для получения основной и вспомогательной продукции. Схема необходима для последующего учета на каждом уровне энергетических ресурсов и дальнейшей оценки правильности принятых технологических операций.
- Составление схемы потребления энергетических ресурсов объектом.  
На технологическую схему наносятся места потребления и передачи на разные уровни схемы различных топливно-энергетических ресурсов.
- Составление карты использования энергетических ресурсов.  
Карта использования энергетических ресурсов представляет собой нанесение на план объекта в соответствующем масштабе потребление различных видов энергии по отдельным подразделениям. Позволяет оценить транспортные потоки разных видов энергии и оценить наиболее энергоемкие подразделения .
- Составление баланса предприятия по отдельным видам энергоресурсов.  
Баланс по отдельным энергоресурсам объекта позволяет в целом оценить эффективность использования различных энергоносителей, акцентировать внимание на отдельных потребителях энергии для углубленного их изучения .
- Составление топливно-энергетического баланса предприятия.  
Топливо-энергетический баланс объекта является основой для оценки правильности выбора энергоносителей, прогнозной оценки потребления энергоносителей.
- Выявление наиболее энергоемких потребителей и сбор данных по ним.  
Определение наиболее энергоемких потребителей объекта, для которых устанавливаются как исходные данные каталожного характера, схемы энергоиспользования, а так же определяются с помощью соответствующих

измерений режимные параметры их работы для последующей оценки эффективности использования энергоносителей.

- Определение удельных норм потребления энергии по отдельным потребителям.  
Удельные нормы потребления энергии по отдельным потребителям и объекту в целом дают возможность сравнения с аналогичными нормами высокопроизводительных производств и выявить отдельные потребители с низкими нормами для дальнейшего обследования.
- Составление энергетического баланса по отдельным энергоемким потребителям.  
Энергетический баланс по отдельным энергоемким потребителям позволяет оценить эффективность использования при различных видах энергии, выявить участки нерационального использования энергии, наметить пути экономии энергии.

III этап. Анализ эффективности использования топливно -энергетических ресурсов объектом

- Анализ эффективности использования отдельных технологических процессов.  
На основании анализа дается заключение в правильности принятых в условиях действующего объекта отдельных технологических решений или о замене некоторых из них на более прогрессивные, при этом определяются затраты на изменение технологии и дается заключение о целесообразности инвестиций.
- Анализ эффективности использования топливно-энергетических ресурсов подразделениями объекта.  
На основании анализа дается заключение о целесообразности использования того или иного энергоносителя на различных уровнях технологического процесса в подразделениях объекта, в случае замены энергоносителя дается соответствующее технико-экономическое обоснование. Особое внимание должно быть уделено также вопросам транспорта энергоносителей в условиях объекта. Это касается в первую очередь сети теплоснабжения и пневматической сети. Также должно быть уделено внимание специфическим вопросам, например, обоснования использования того, или иного вида тарифа на электроэнергию в условиях объекта.
- Анализ энергоиспользования отдельными потребителями.  
Данный подраздел является наиболее объемным, и большинство организаций, проводящих энергетический аудит, ограничиваются лишь рассмотрением данного вопроса, при этом рассмотрение ведется не всесторонне, а при ограниченном времени энергоаудита принимаются к рассмотрению лишь те потребители энергии, которые дают явновидимый эффект.
- Определение сверх нормативных потерь топлива и энергии.
- Определение приоритетов для углубленного энергетического аудита.  
На отдельных объектах имеют место специфические энергопотребители, эффективность работы которых сложно определить без дополнительного энергетического аудита. Дополнительный энергетический аудит включает специальные обследования с использованием специфического измерительного оборудования или проведения научных исследований. Что касается специфических энергопотребителей, то к ним можно отнести

холодильные, компрессорные установки, электрические печи нагрева и др. Исследовательские разработки проводятся при решении специфических вопросов, отмеченных в договоре на энергетический аудит.

IV этап. Углубленный энергетический аудит отдельных технологических процессов и энергопотребителей

- Проведение дополнительных замеров промежуточных параметров и определения рабочих режимов;
- Выявление эффективности работы потребителей;
- Решение специфических вопросов по договоренности с руководством.

V этап. Подведение итогов энергетического аудита

- Разработка энергосберегающих мероприятий;
- Техничко-экономический анализ эффективности внедрения мероприятий;
- Сравнительный анализ полученных результатов;
- Выбор новых приоритетов и постановки задач на дальнейшее снижение энергоемкости продукции и потребления энергоресурсов;
- Составление отчета по энергетическому аудиту.

Существует множество факторов, определяющих важность и целесообразность проведения энергетического обследования, объясняющих, почему энергопользователю следует доверять его результатам. Особенно важным аспектом при проведении энергоаудита является дополнительная выгода от того, что исследование проводится квалифицированным специалистом, а не случайным работником компании. Чаще всего большим доверием у руководителей пользуются рекомендации профессионального консультанта, а не советы персонала.

*Энергопользователь, получает отчёт по энергоаудиту и может самостоятельно решать следующие проблемы:*

- *Определить, как потребляется энергия внутри объекта и сформулировать приоритеты по перечню энергосберегающих рекомендаций.*
- *Сравнить энергопотребление на данном объекте с величинами потребления энергии на других аналогичных объектах, определяя таким образом объект как “плохой” или “хороший” потребитель энергии.*
- *Показать необходимость инвестиций для приобретения и освоения нового более экономичного оборудования.*
- *Обосновать предложенный проект, который не был бы утверждён без поддержки внешнего консультанта.*



## 2. МЕТОДОЛОГИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОАУДИТА

Методология ведения энергоаудита зависит от той информации, которую стремится получить и за которую желает платить клиент, а также от состава используемого в ходе обследования контрольно-измерительного оборудования. С одной стороны, энергоаудит может быть простым обзором энергопотребления, основанным на данных счётчиков предприятия. С другой стороны, энергоаудит может быть комплексным и трудоёмким процессом по определению и идентификации всех направлений расходования энергии и предусматривать установку нового постоянного измерительного оборудования, тестирование и измерение в течение длительного периода времени, и в результате детальной проверки выдаст детальные рекомендации. Естественно, последний тип аудита будет значительно дороже, чем первый.

*Существует множество способов проведения энергоаудита, и выбор одного из них зависит от следующих факторов:*

- *Квалификация энергоаудитора.*
- *Имеющиеся измерители (стационарные и переносные).*
- *Понимание, чего требует и за что желает платить клиент.*

### 2.1. Простой энергоаудит

Это простой технический приём для начинающего энергоаудитора. Составив несколько первых отчётов по энергоаудиту, новичок будет сознавать актуальность и важность рекомендаций по экономии энергии, таких, например, как использование светильников с низким потреблением энергии, улучшенный тепловой контроль и изоляция. После этого аудитор может без труда исследовать другие аналогичные объекты и определить возможности для применения тех технологий энергосбережения, которые он уже с успехом использовал. Этот технический приём часто используется компаниями, продающими энергосберегающее оборудование, для нахождения рынков сбыта. Кроме того, приём может использоваться «внутренними» энергоменеджерами компании, в которой все объекты имеют аналогичные энергетические проблемы. Например, энергоменеджер компании, владеющей сетью гостиниц, мог бы определить перечень энергосберегающих мероприятий, которые можно применить ко всем гостиницам сети. Этот метод не рекомендуется применять профессиональным консультантам по энергетическим вопросам.

Таким образом, простой энергоаудит

- *Обеспечивает базовое энергетическое обследование.*
- *Делает общие выводы о потреблении энергии.*
- *Уделяет особое внимание небольшому числу стандартных мер по экономии энергии.*

### 2.2. комплексный энергоаудит

Это рекомендуемая методология для профессионального энергоаудитора. Этот метод основан на подсчёте количества использованной энергии и сравнении этой величины с промышленными нормативами и теоретическим энергопотреблением. Метод помогает выявить потенциальную экономию энергии. Первым делом следует подсчитать

количество энергии, потреблённой всеми основными видами оборудования и сравнить данную величину с общим энергопотреблением на предприятии. Проведя эту работу, аудитор выявляет пути экономии энергии, основанные на модернизации оборудования, новом техническом обслуживании и режиме эксплуатации, реструктуризации потребления энергии на объекте (децентрализованное электроснабжение, использование альтернативных процессов производства, комбинированная выработка тепловой и электрической энергии (когенерация) и др.). Данная методология позволяет провести высококачественный энергоаудит, основанный на научном подходе, исследовании и измерении различных параметров, а также на опыте эксперта.

Таким образом, комплексный энергоаудит

- *Обеспечивает детальное энергетическое обследование.*
- *Для точного определения энергопотребления использует такие приёмы, как регрессионный анализ и энергетический баланс.*
- *Рассматривает широкий круг возможностей энергосбережения, включая структурные изменения, такие как когенерация, децентрализация или использование альтернативных источников топлива.*

В реальной жизни чаще встречается сочетание первого и второго методов проведения энергетического обследования. Такой подход подразумевает использование сложных аудиторских приёмов, но, вместо поиска широкого круга возможностей по экономии энергии, он фокусируется на небольшом количестве технологий энергосбережения.

Все объекты, на которых проводится энергоаудит, должны иметь измерительное оборудование, пусть это лишь коммерческие счётчики предприятия. Некоторые предприятия могут иметь обширную сеть дополнительных счётчиков, и всегда есть возможность использовать временное переносное измерительное оборудование. Портативные аудиторские комплекты, способы, которыми могут осуществляться измерения при аудиторской проверке, а также полная характеристика измерительного оборудования рассмотрены в другом разделе.

В коммерческих отношениях для энергоаудитора очень важно дать клиенту ТО, ЧТО ОН ХОЧЕТ, НО НЕ БОЛЬШЕ ТОГО, ЗА ЧТО ОН ЖЕЛАЕТ ЗАПЛАТИТЬ. Вдобавок к общему объёму требуемой клиентом информации, аудитор также должен учитывать то, КАКИМ ОБРАЗОМ эта информация должна быть представлена.

*Осуществляя энергоаудит, аудитор всегда должен помнить о том, ЧТО ТРЕБУЕТ КЛИЕНТ и об ИМЕЮЩИХСЯ РЕСУРСАХ (время и деньги). Эти моменты окажут влияние на:*

- *Детальность энергоаудита.*
- *Количество используемых измерителей.*
- *Акцент на определённом оборудовании или на мерах по энергосбережению.*
- *Деление энергии по центрам проведения проверки.*
- *Виды используемых показателей работы.*
- *Метод расчёта энергопотребления.*



### 3. ПРОФИЛЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ

Существующие технические приёмы, используемые аудиторами для получения данных по количеству потребленных энергоресурсов различным оборудованием, показаны на *рис. 1*.

После измерений, сопоставляют величины таким образом, что энергия, использованная каждой категорией потребителей, суммируется и сравнивается с общим объёмом энергопотребления на объекте. Для уточнения данных устраивается перекрестная проверка. Эта информация включается в энергоаудит.



**Рис.1**

#### 3.1. РАСЧЕТ ПОТРЕБЛЕННОГО топлива

Если энергоресурсы поставляются в известных количествах и возможно измерить объёмы поставок в любое время, счётчики для **прямого измерения** потребленного топлива использовать не обязательно.

*Расчёт потребленного топлива - это метод вычисления энергопотребления для первичного топлива, которое не измеряется в разрезе общего расхода энергии. Данный приём наиболее часто используется по отношению к НЕФТЯНОМУ ТОПЛИВУ и УГЛЮ. Вычисление требует владения следующей информацией:*

**На начальном периоде:**

*Количество топлива на складе (S1)*

**В течение периода:**

*Количество топлива поставленного (D)*

***В конце периода:***

*Количество топлива на складе (S2)*

*Отсюда рассчитываем потребление:*

$$\Pi = D + S1 - S2$$

Расчёт потреблённого жидкого топлива обычно включает различные приёмы измерения: от традиционной масломерной линейки до цифровых нефтяных резервуаров. Первые два приёма, которые измеряют скорее объём, чем давление, могут иметь погрешности в отношении изменений температуры, если она не сохраняется на постоянном уровне. Для горизонтальных цилиндрических резервуаров, масломерной линейки или поплавкового уровнемера шкалы должны быть как следует проградуированы.

*Примеры измерительных приспособлений:*

- *Цистерны с известными объёмами*
- *Поплавковые уровнемеры*
- *Манометр (аналоговый)*
- *Манометр (цифровой)*

***Рис. 2.***

Такие же приёмы применимы к расчёту потреблённого угля, хотя процесс усложняется, если уголь хранится в шахте или свален на земле. ***Рис. 2*** показывает примеры измерения количества угля в таких случаях.

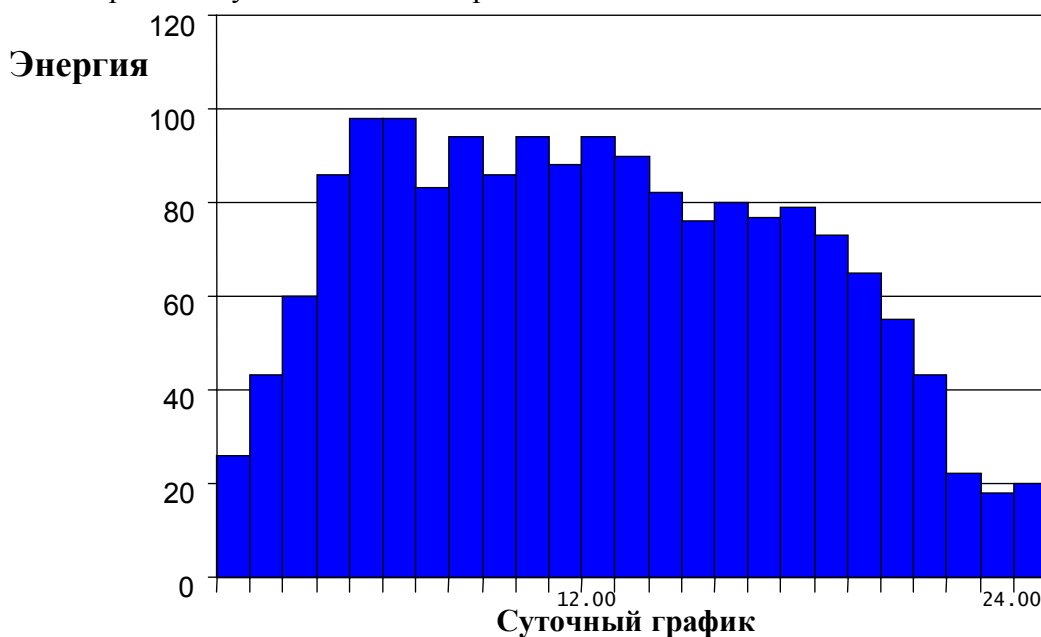
### ***3.2. Интегрирование ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПЕРЕНОСНЫХ измерителей***

На ***рис. 3*** представлен пример ГРАФИКА НАГРУЗКИ, полученного с помощью сложных измерительных приборов, таких как регистратор потребления энергии или ультразвуковой расходомер. Важность подобных диаграмм заключается в том, что они демонстрируют изменение количества потреблённой энергии за период времени. Эта

информация помогает сравнить фактические изменения объёма потреблённой энергии с ожидаемыми, а также показывает, насколько успешно функционируют ручная и автоматическая системы управления. Определяя потенциальные возможности энергосбережения, графики нагрузки могут указывать на следующие факторы:

- Повреждения систем контроля;
- Системы контроля, управляемые операторами вручную;
- Различие эффективности электропотребления на различных рабочих сменах;
- Потери и утечки.

Графики потребления энергоносителей и воды должны быть включены в отчёты по энергоаудиту, так как они наглядно отражают существующие проблемы и, таким образом, выявляют конкретные пути экономии энергии.



*Рис. 3*

Расход энергии может также измеряться стационарными или переносными счётчиками посредством определения величины параметров, относящихся к потреблению энергии. Примерами таких параметров являются электрический ток, расход пара и наработка в часах. Для перевода этих параметров в единицы потребляемой энергии, необходимо знать такие параметры, как: напряжение, энтальпия парообразования или среднее потребление мощности во время работы.

*Опытный энергоаудитор по некоторым измеренным параметрам сможет определить энергетические потоки.*

*Например, по измеренному току потребление электрической энергии можно рассчитать с помощью величины напряжения и коэффициента мощности.*

*При исследовании теплоиспользующего оборудования энергопотребление можно определить с помощью расчёта энтальпии подаваемого пара и возвратного конденсата.*

*Для оборудования, работающего с постоянным графиком нагрузки, одночасовые счётчики используются для определения общей величины потребления.*

Потребление энергии также может быть измерено **непрямым путём**. Рассмотрим два самых часто используемых метода расчёта: регрессионного анализа и проверочного теста.

### 3.3. РЕГРЕССИОННЫЙ АНАЛИЗ

Этот метод представляет собой математический приём, основанный на сравнении изменений количества использованной энергии с изменениями другой переменной, от которой может зависеть потребление энергии. Например, можно сравнить величину потребления энергии в месяц с месячной выработкой на одном предприятии. Математический анализ разделяет объём потреблённой энергии на ПОСТОЯННУЮ НАГРУЗКУ (то есть на количество энергоносителя, необходимого для поддержания на предприятии нулевого уровня производства) и ПЕРЕМЕННУЮ НАГРУЗКУ (количество энергоносителя для производства каждой дополнительной единицы выпускаемой продукции). Регрессионный анализ также отражает изменение количества энергии при изменении переменной. Кроме того, он позволяет контролировать использование энергии и выявлять пути экономии.

На *рис. 4* представлен общий вид типичного графика регрессионного анализа. Крестиками обозначены количество потреблённой энергии при соответствующем объёме произведённой продукции за определённый промежуток времени, например, за неделю или месяц. “Идеальной” прямой выделяют постоянную и переменную энергетическую нагрузку. Во многих случаях, в частности, когда расход энергии тщательно контролируется, такую прямую можно оценить на глаз. Однако, предпочтительней использовать точный математический метод “линейного регрессионного анализа”.

В *табл. 1* показано, как постоянные и переменные составляющие расхода энергии связаны с различными переменными величинами, а также приведены характеристики постоянной и переменной нагрузки. Следует отметить, что любые потери, такие как утечка пара или утечка, вызванная плохой изоляцией труб, включаются в постоянные расходы. Иногда несколько переменных соотносят с одним источником энергии, поэтому энергоаудитор должен самостоятельно определить наиболее надёжную переменную. Для этого по отношению к каждой альтернативной переменной применяется регрессионный анализ, а затем определяется наиболее приемлемое соотношение двух видов данных. Однако чаще всего это решение основывается на здравом смысле.

Иногда применяют “мультипликативный регрессионный анализ”, то есть сравнивают величину использованной энергии с несколькими переменными сразу. Однако такие ситуации встречаются редко.

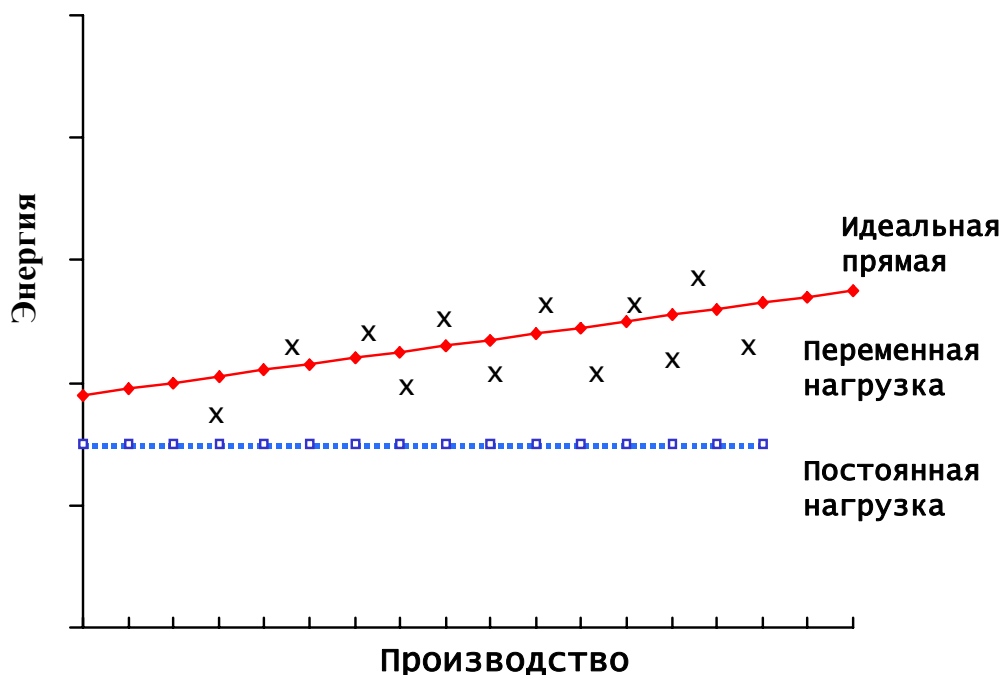


Рис. 4

Таблица 1

Энергия	Измеряемая переменная	Энергопотребление	
		Постоянная нагрузка	Переменная нагрузка
Котельное топливо для отопления помещений	Градусо-дни*	Горячая вода	Отопление помещений
Водоснабжение для центрального отопления	Градусо-дни*	Горячая вода	Отопление помещений
Котельное топливо	Производимый пар	Потери котельной	Технологический пар
Пар, поставляемый на завод	Заводская продукция	Потери в распределительной сети	Технологический пар
Электроэнергия, поставляемая на завод	Заводская продукция	Непроизводительное электропотребление Потери в сетях	Производственное электропотребление

\* - Градусо-дни – величина того, сколько требуется энергии для отопления помещений.

### 3.3. ПРОВЕРОЧНЫЙ ТЕСТ

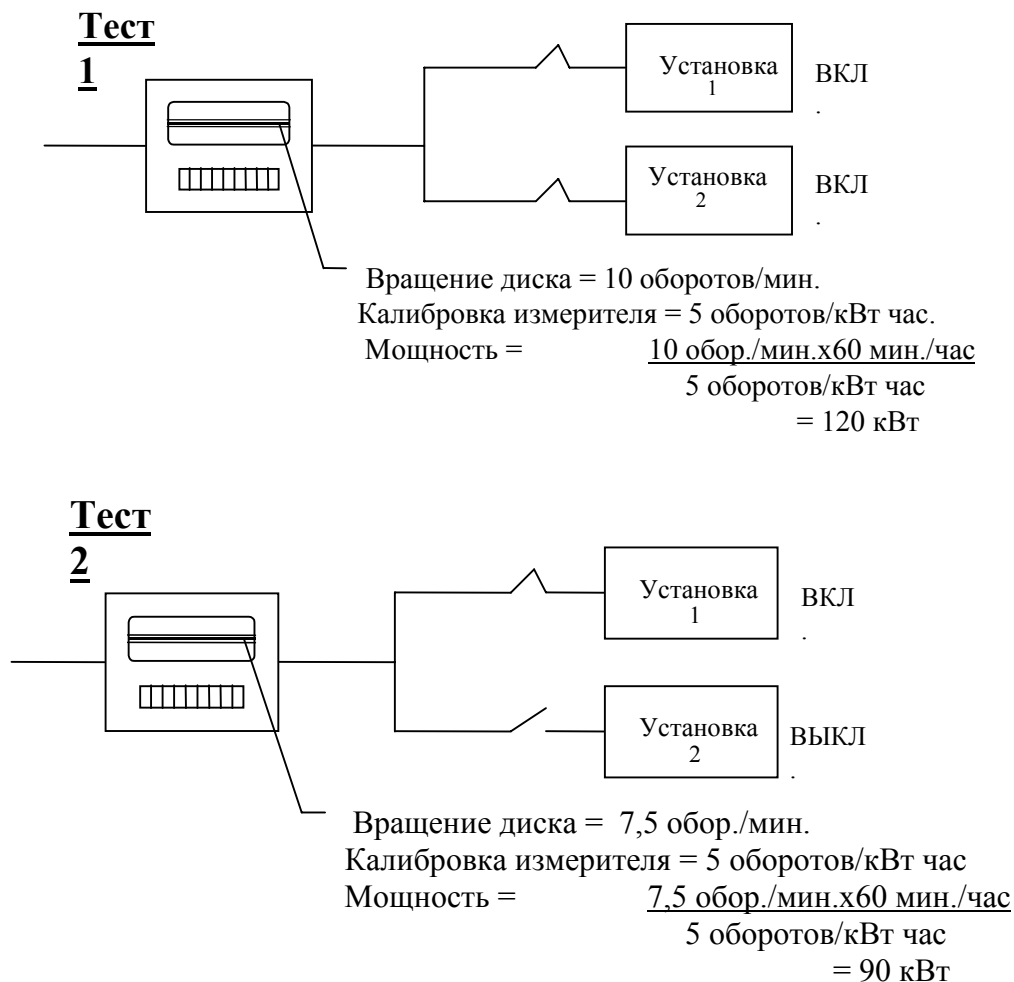
Метод проверочного теста основан на наблюдении за изменением УРОВНЯ энергопотребления после выключения приборов. В сети, где несколько пользователей энергии подключены к одному счётчику, этот приём используется для нахождения количества энергии, используемой одним или группой потребителей.

Если несколько энергопотребителей запитаны от одного измеряемого источника, индивидуальное потребление энергии каждым из потребителей может измеряться путём включения и выключения различных нагрузок и последующим наблюдением за изменением величины энергопотребления.

Рассмотрим как проверочный тест используется для выявления величины энергопотребления одной из двух установок, присоединённых к одному электросчётчику (рис. 5). В этом примере МГНОВЕННОЕ потребление электроэнергии рассчитывается путём определения частоты оборотов вращающегося диска в электросчётчике.

Проверочные тесты также применимы к другим типам счётчиков, например, к газовым и паровым. Хотя в таких счётчиках нет вращающихся дисков, частоту оборотов которых можно измерить, мы можем проследить время, за которое переместится стрелка счётчика. Таким образом, принцип остаётся тот же, хотя период снятия показаний может продлиться.

Для получения точных результатов проверочных тестов мы должны быть уверены в том, что энергопотребление тестируемого оборудования находится на нормальном уровне и не изменяется в течение периода тестирования, например, автоматическими системами управления.



**Рис. 5**

**Вывод**

Установка 1, Средняя нагрузка = 90 кВт

Установка 2, Средняя нагрузка = 30 кВт

Другие примеры использования проверочных тестов:

### *Электроснабжение производственного оборудования и освещения*

Когда производственный процесс останавливается (например, во время обеда или в конце рабочего дня), освещение на несколько минут остаётся включённым. При условии, что выключено всё оборудование производственного помещения, привязанное к одному счётчику, вы сможете точно определить количество электроэнергии, потребляемой освещением.

### *Сжатый воздух*

Когда производственный процесс останавливается и нет потребности в сжатом воздухе (например, в случае применения пневматических систем управления) оставьте воздушные компрессоры включёнными. Потребляемая компрессорами энергия укажет на размер утечек сжатого воздуха. Если включение/выключение компрессоров контролируется, вам следует измерить время загрузки/разгрузки компрессоров, чтобы оценить уровень потерь воздуха и количество потреблённой электроэнергии.

Проверочные тесты обычно наиболее эффективны при включении всего оборудования и отключении затем различных нагрузок в различные интервалы времени. Данная система не всегда срабатывает в обратном направлении, так как некоторые энергопотребители (а именно, флюоресцентные лампы, двигатели, системы сжатого воздуха) потребляют больше энергии при включении, чем в период операционного процесса.

Проверочные тесты применимы исключительно в отношении оборудования, потребляющего на протяжении тестирования **постоянное** количество энергии. Например, автоматическое включение и отключение оборудования в период тестирования (холодильники) может дать ошибочный результат.

## 4. АНАЛИЗ ПОТОКОВ ЭНЕРГИИ

Чтобы оценить эффективность преобразования одного вида энергии в другой или определить общее потребление энергии, энергоаудитор в своих расчётах часто основывается на измерении различных потоков энергии.

Это могут быть первичные, вторичные или даже третичные виды энергоресурсов. Различают энергетические потоки входящие и исходящие из оборудования.

Рассмотрим некоторые примеры.

### 4.1. Системы вентиляции и кондиционирования

Потоки входящие: электроэнергия.

Потоки исходящие: поток воздуха с определенными физическими свойствами (температурой, влажностью, скоростью).

При проведении энергоаудита систем вентиляции и кондиционирования измеряется потребляемая электрическая энергия. Для оценки производимой полезной работы могут потребоваться измерения таких величин, как скорость вращения вала двигателя, скорость потока воздуха, создаваемый перепад полного давления и др.

Также необходимо обратить особое внимание на потери тепла с удаляемым из помещения воздухом в случае использования вытяжной вентиляции.

Общая структурная схема системы вентиляции представлена на **рис 6**.

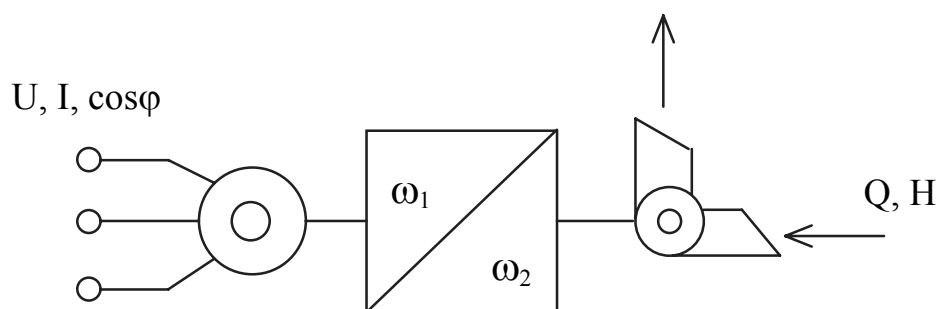


Рис.6.

Если предъявляется требование подогрева или охлаждения воздуха, то в структурной схеме добавляется еще один элемент – кондиционер, изменяющий физические свойства рабочего тела.

Измерение потребляемой вентиляционной установкой электрической мощности, как правило, осуществляется при помощи ваттметров. Мощность трехфазного тока, потребляемая двигателем, может быть замерена двумя однофазными ваттметрами или ваттметром трехфазного тока.

Необходимо заметить, что часто применяются комплексные приборы, позволяющие одновременно производить измерения потребляемой активной, реактивной, полной мощностей; фазного либо линейного напряжения питающей сети; электрического тока, потребляемого нагрузкой и коэффициента мощности.

При отсутствии вышеперечисленного оборудования потребляемая двигателем электрическая мощность может быть определена косвенным образом при измерении напряжения питающей сети, потребляемого тока и коэффициента мощности. Измерения



этих величин можно производить с помощью вольтметра, амперметра и фазометра соответственно. В этом случае мощность рассчитывается по формуле:

$$P_{эл} = U \cdot I \cdot \cos(\varphi),$$

где  $U$  [В] – напряжение питающей сети;

$I$  [А] – потребляемый из сети ток;

$\cos(\varphi)$  – коэффициент мощности.

Измерительное оборудование, осуществляющее непосредственное измерение механической мощности, отсутствует. Поэтому механическая мощность при вращательном движении может быть определена косвенным способом по формуле:

$$P_{мех} = M \cdot \omega,$$

где  $M$  [Н·м] – развиваемый двигателем момент;

$\omega$  [с<sup>-1</sup>] – частота вращения вала двигателя.

Измерение частоты вращения, как правило, производится при помощи счетчиков оборотов, тахометров и стробоскопов.

Вращающий момент может быть измерен с помощью балансирующего динамометра, который представляет собой устройство с качающимся узлом, момент равновесия которого прямо пропорционален измеряемому моменту. На практике для определения момента, развиваемого двигателем, необходимо его отсоединение от системы вентиляции. При энергоаудите такой метод используется крайне редко. При ориентировочных расчетах для определения вращающего момента и мощности, развиваемых двигателем, допускается использование табл.2.

Таблица 2.

$\omega / \omega_n$	Без принудительного охлаждения		С принудительным охлаждением	
	$M / M_n$	$P / P_n$	$M / M_n$	$P / P_n$
1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
0,8	0,9	0,71	1,0	0,8
0,6	0,8	0,46	1,0	0,6
0,4	0,6	0,25	1,0	0,4
0,2	0,4	0,09	1,0	0,2

В таблице приняты следующие обозначения :  $\omega$  [с<sup>-1</sup>] – фактическая частота вращения;  $\omega_n$  [с<sup>-1</sup>] – номинальная частота вращения;  $M$  [Н·м] – фактический вращающий момент;  $M_n$  [Н·м] – номинальный вращающий момент.

Другим, и более точным, способом определения развиваемой двигателем механической мощности является измерение потребляемой двигателем электрической мощности и аналитическое определение потерь в двигателе. Тогда развиваемая двигателем мощность определяется по формуле:

$$P_{мех} = P_{эл} + \Delta P,$$

где  $P_{эл}$  – потребляемая двигателем электрическая мощность;

$\Delta P$  – потери в двигателе при фактической нагрузке.

Измерительное оборудование, осуществляющее непосредственное измерение аэродинамической мощности, отсутствует. Поэтому аэродинамическая мощность может быть определена косвенным способом по формуле:

$$P_{\text{аэродин}} = Q \cdot H$$

где  $H$  [Па] – полное давление (напор), развиваемое вентиляторной установкой, представляющее собой разность полных давлений потока при выходе из вентиляторной установки и при входе в неё;

$Q$  [м<sup>3</sup>/с] – производительность (объемный расход), представляющая собой объемное количество газа, поступающего в вентиляционную установку за единицу времени.

Полные давления в различных сечениях воздухопровода можно определить путем измерения мало изменяющегося по сечению статического давления (при помощи отверстия в стенке или трубкой) и прибавления к нему (в нагнетательной части воздухопровода, а во всасывающей – вычитания) динамического давления, вычисленного по средней скорости:

$$H = P_{\text{ст}} \pm v^2 \cdot \frac{\rho}{2},$$

где  $P_{\text{ст}}$  – измеренное статическое давление, Па;

$v$  – средняя скорость потока, м/с;

$\rho$  – плотность перемещаемого воздуха, кг/м<sup>3</sup>.

Если на рассматриваемом участке имеется врезанный прибор для измерения расхода воздуха (ротаметр, сужающее устройство), то используются показания этого устройства. На участках, где таких измерителей нет, объемный расход определяется по средней скорости потока и геометрическим размерам трубопровода по формуле:

$$Q = v \cdot F,$$

где  $v$  [м/с] – средняя скорость потока;

$F$  [м<sup>2</sup>] – площадь поперечного сечения на измеряемом участке.

Следовательно, для определения аэродинамической мощности необходимо применение следующих приборов:

- Для измерения давления – жидкостные манометры, микроманометры;
- Для отбора давлений в трубопроводах – пневмометрические трубки;
- Для измерения скорости потока – чашечные и лопастные анемометры, термоанемометры;
- Для определения параметров окружающего воздуха – барометры (для измерения атмосферного давления), различного рода термометры (для измерения температуры), психрометры (для определения влажности воздуха).

Необходимо отметить, что в настоящее время имеются комплексные приборы, позволяющие проводить измерения скорости, давления и температуры потока воздуха; температуры и влажности воздуха окружающей среды и др.

*Измеряется:* Электроэнергия, потребляемая двигателем, напряжение, ток, коэффициент мощности, частота вращения привода, статическое и динамическое давление.

Оценивается: Механическая мощность, потери в двигателе и распределительных сетях.  
Рассчитывается: Вращающий момент, аэродинамическая мощность, объемный расход воздуха.

## 4.2. Системы охлаждения

Потоки входящие: электричество, теплота, поглощённая из холодоносителя

Потоки исходящие: теплота, отводимая конденсатором; теплопотери компрессора.

Система охлаждения - это комплекс оборудования, обеспечивающий цикл преобразования энергии, при котором количество теплоты, отводимой конденсатором (и посредством других поверхностных потерь) равно количеству энергии, поглощённой испарителем плюс электроэнергия, потребляемая компрессором. Таким образом, измерив любые два из этих компонентов, мы можем рассчитать третий. Этим мы не только определим общее количество потреблённой энергии, но и узнаем, насколько хорошо работает система.

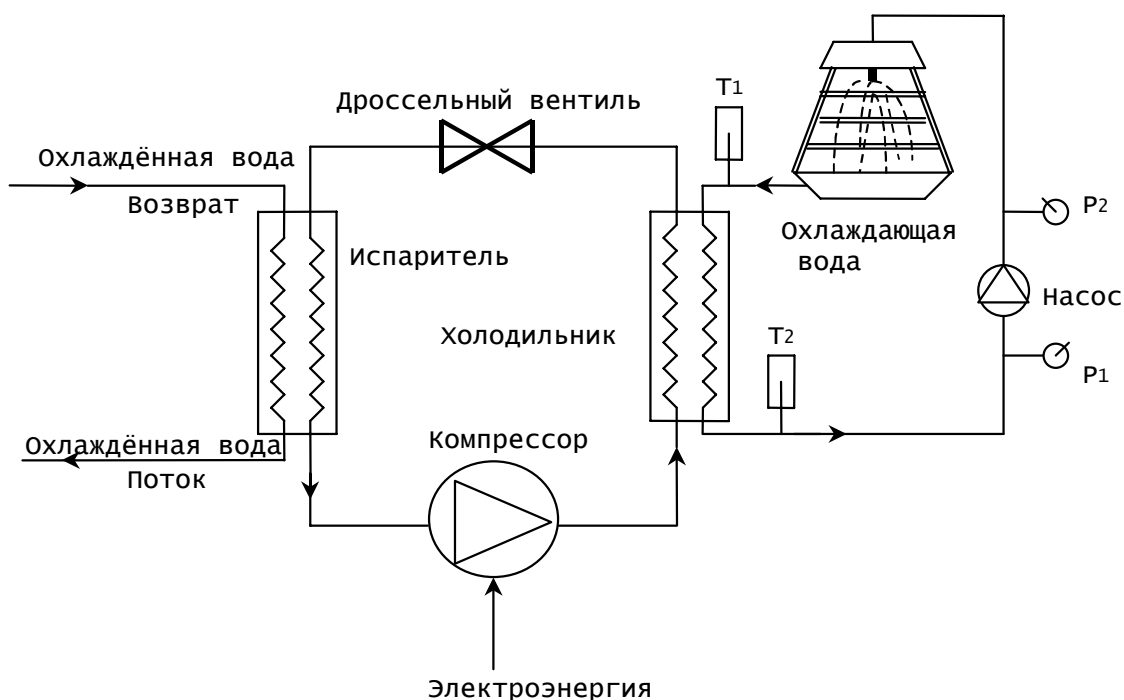
На *рис. 7* показана парокompрессионная система охлаждения, в которой, в качестве рабочего тела используется охлаждённая вода, а также градирня водяного охлаждения открытого циркулирования, в которой, как средство эффективного охлаждения конденсата, используется принцип паропоглощения. Здесь энергоаудитору следует сфокусировать внимание на фактической эффективности системы, в частности, на расчёте коэффициента эффективности (*CoP*) системы и эффективности работы стояка водяного охлаждения. В этом примере электропотребление измеряется стационарным либо временно установленным счётчиком, в то время как количество отводимого тепла в градирне водяного охлаждения вычисляется путём измерения температур охлаждающей воды в подающем и обратном трубопроводах и пересчётом разницы температур в коэффициент энергопотока. Данное вычисление осуществляется умножением теплоёмкости воды на скорость потока, который определяется либо путём измерения разницы давления в насосе либо путём использования накладного расходомера. Отношение выделенной теплоты к потреблённой электроэнергии обозначается как *CoP(H)*, т.е. *CoP* тепла (коэффициент теплопроизводительности). По определению, соотношение между *CoP* тепла и *CoP* охлаждения - *CoPR(R)* (отношение охлаждения к электричеству), задаётся формулой:

$$CoPR(R) = CoP(H) - 1$$

Таким образом, мы можем сравнить *CoP* рассчитанное с *CoP* ожидаемым, основанным на данных предприятия. Это поможет определить операционную эффективность и выявить возможности энергосбережений.

Другая область исследования - это градирня водяного охлаждения. В данном случае следует измерить параметры окружающего воздуха и параметры воздуха, нагнетаемого с вершины градирни водяного охлаждения, с учётом показаний сухого и смоченного термометров. Если температура охлаждённой воды, возвращающейся в конденсатор, отличается от температуры окружающего воздуха по показаниям смоченного термометра в пределах 2°C, тогда для многих систем это показатель высокой эффективности. Воздух, входящий в градирню водяного охлаждения, должен быть насыщен приблизительно на 70% - 90%. Если насыщение меньше указанного, это свидетельствует о чрезмерной искусственной вентиляции (если таковая имеется) по отношению к количеству воды, подлежащей охлаждению либо о том, что градирне водяного охлаждения требуется ремонт, а именно, модернизация системы распыления воды и поверхностей теплопередачи. Если насыщение превышает указанное, это свидетельствует о том, что в градирне водяного охлаждения подаётся недостаточный

поток воздуха, кроме случаев, когда высокая влажность является результатом очень высокой влажности окружающей среды.



**Рис. 7**

Измеряется: Электроэнергия, потребляемая компрессором. Увеличение температуры в охлаждающем контуре.

Увеличение давления посредством накачки охлаждающей воды.

Оценивается: Норма расхода охлаждающей воды.

Рассчитывается: Теплота, отведённая конденсатором. Расход охлаждающей воды. Разница температур. Удельная теплоёмкость. Коэффициент эффективности.

### **4.3. Парогенерирующие котлы**

Потоки входящие: топливо, воздух, питательная вода

Потоки исходящие: выработанный пар, отработанные газы, продувка, теплопотери.

В данном случае мы можем измерить не только величину потребления топлива, но и количество потреблённой питающей воды, произведённого пара, а также параметры выходных газов. Эта информация даст нам сведения об эффективности работы котла и количестве пара, а также о потерях.

На **рис. 8** показаны различные измеряемые энергетические потоки внутри котельной. Рассмотрим, как можно анализировать эти потоки с целью определения других параметров.

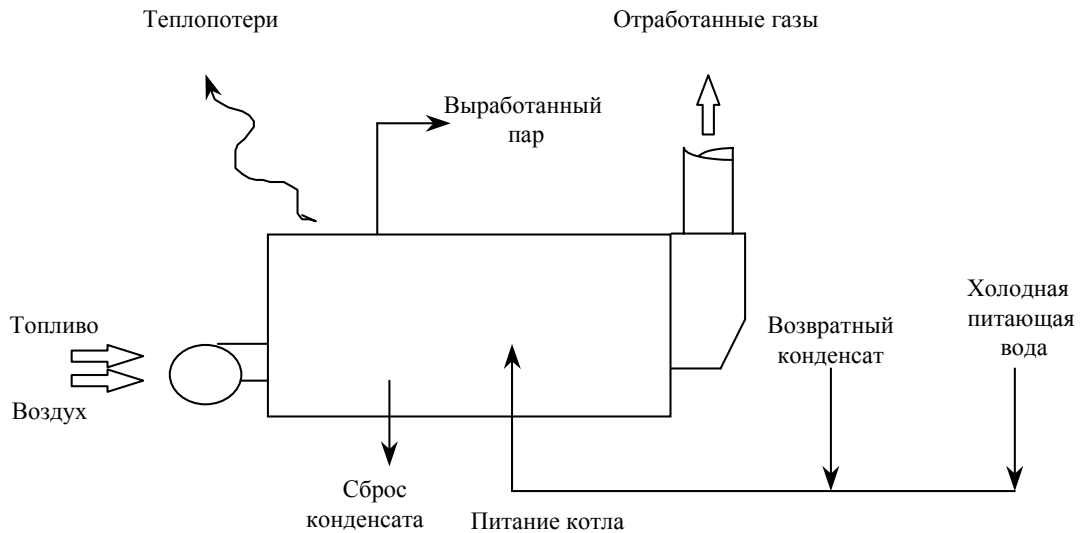


Рис. 8

### Потоки воды и пара

Измеряется: пар, холодная питающая вода

Оценивается: Сброс конденсата

Определяется: Процент возвратного конденсата

### Энергопотоки

Измеряется: расход топлива, выработанный пар

Оценивается: теплопотери выхлопа

Определяется: эффективность горения, другие потери котла.

Мы знаем что, общий объём питающей холодной воды равен сумме поступающей из котла горячей воды и других потерь системы (а именно, запланированные потери, такие как системы впрыскивания пара и неконтролируемые потери, такие как выброс и утечка пара). Мы можем легко оценить потери при сбросе (основанные на давлении котла, размеры труб для сброса и их длины) и, таким образом, определить сумму всех других потерь пара/конденсата. Эту величину затем можно сравнить с запланированными и незапланированными потерями, чтобы выявить область улучшения. Ещё один полезный показатель эффективности, величина потерь пара, находится как процент от общего количества выработанного пара.

Аналогично, если мы измеряем поток топлива и количество выработанного пара, мы можем подсчитать фактическую эффективность котла за период времени. Сравнивая эту величину с данными теста анализа горения, мы можем либо выявить несоответствие величин друг другу либо использовать каждый набор данных для проверки точности других величин. Если оба расчёта эффективности соответствуют друг другу, можно просчитать потери вне процесса горения, такие как излучение и конвекция, потери при сбросе и потери коротких циклов.

## 4.4. Теплообменники

Потоки входящие: горячий пар (перед охлаждением), холодный пар (перед нагреванием)

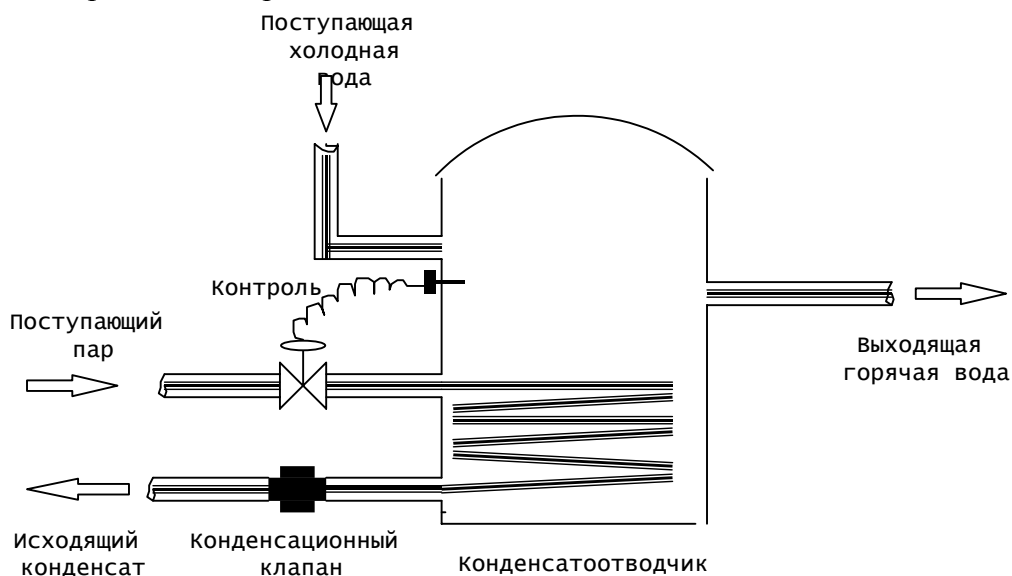
Потоки исходящие: горячий пар (после охлаждения), холодный пар (после нагревания).

Хорошо изолированный теплообменник имеет незначительные потери тепла, поэтому на практике количество теплопотерь горячего потока, поступающего в теплообменник равно количеству пара, полученного холодным потоком, входящим в теплообменник. Таким образом, измеряя количество энергии, потребляемой из одного

потока жидкости или полученной им, мы можем рассчитать энергию, полученную другим потоком жидкости или отбираемую из него.

Если теплообменники имеют значительные теплотери, мы должны уметь просчитать их и определить, учитывая конструкцию теплообменника, учесть теплотери в соответствующем потоке рабочего тела.

На *рис. 9* показана конфигурация типичного калорифера, который выделяет из пара теплоту для образования горячей воды.



**Водяной калорифер, нагреваемый паром**

*Рис. 9*

В этом примере установка недорогого счётчика холодной воды даёт возможность измерять потребление воды и энергии. Потребление воды измеряется счётчиком непосредственно, а энергопотребление можно рассчитать как количество воды, умноженное на теплоёмкость и на изменение температуры (т.е. заданная температура минус температура поставляемой холодной воды). Эта величина отражает количество выделенной из пара теплоты, равное сумме поглощённой теплоты из воды и любых поверхностных потерь калорифера.

Измеряется: Холодная питательная вода

Оценивается: Увеличение температуры (контрольная температура - средняя температура холодной воды)

Определяется: Энергия, поглощённая из пара

## 5. ОЦЕНКА ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ

Если измерение энергии и энергопотоков счётчиками невозможно, следует оценивать потребление энергии, основываясь на показаниях и режиме работы имеющегося оборудования. На практике, из-за ограниченности ресурсов и времени, это один из самых популярных методов расчёта энергопотребления. Суть этого метода отражена на *рис. 10*. Из рисунка видно, что СРЕДНИЙ уровень энергопотребления рассчитывается путём умножения **НОМИНАЛЬНОЙ МОЩНОСТИ** оборудования на **КОЭФФИЦИЕНТ ЗАГРУЗКИ**. Информацию по номинальной мощности оборудования можно получить из нескольких источников: по маркировке оборудования или из инструкции по эксплуатации, хотя иногда необходимо учитывать прошлый опыт работы и использованную мощность аналогичного оборудования. Коэффициент средней загрузки иногда указывается в инструкциях и опубликованных исследованиях. Однако энергоаудитору часто придётся самостоятельно оценивать значение загрузки в течение периода эксплуатации.

Затем, для нахождения величины потребления энергии в год полученная величина умножается на **ВРЕМЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ЗА ГОД**. Эта информация может быть получена из данных по аналогичным установкам. Опрос операторов - также хороший источник для уточнения времени работы, однако операторы часто не уверены в том, как часто используется некоторое оборудование. Поэтому мы должны различать бездействующее оборудование и оборудование, функционирующее в нормальных условиях. Рассчитывая время использования оборудования за год, необходимо учитывать простои оборудования в связи с текущим ремонтом, запланированным и незапланированным.

Преимущество данного метода заключается в том, что для расчётов не требуется специальных инструментов, а недостатком является то, что метод основан на определённых предположениях и допущениях.

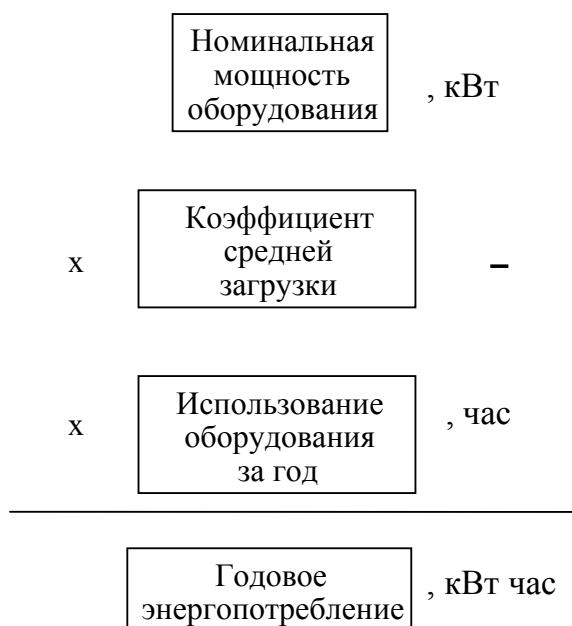


Рис. 10

Из-за необходимости делать допущения данный метод является надёжным в том случае, если хорошо известны детали эксплуатации оборудования. Например, если мы знаем количество и мощность ламп, освещающих парковку машин, а также нам известно, сколько времени в году эти лампы включены, описываемый метод расчёта будет довольно точен. Для более сложного оборудования, которое автоматически меняет мощность в течение технологического процесса, расчёт энергопотребления гораздо сложнее. В таких случаях могут помочь измерения, выполненные на оборудовании при его тестировании. Кроме того, можно использовать данные, опубликованные институтами энергетических исследований. Очень часто бывает трудно рассчитать

точное количество часов потребления энергии оборудованием. В подобных ситуациях опрашиваются операторы и изучаются журналы включения и отключения оборудования. Кроме того, если работа оборудования контролируется автоматически (а именно, выключателем с часовым механизмом), это тоже обеспечит нас требуемой информацией.

Чтобы успешно использовать в энергоаудите рассчитанное потребление, аудитор должен уметь применять правильные коэффициенты использования оборудования и проводить перекрёстную проверку результатов, сравнивая их с известными нормами и общим потреблением энергии (см. рис. 1)

Рассмотрим примеры оценки потребления энергоресурсов.

## 5.1 ОСВЕЩЕНИЕ

Поскольку некоторые виды ламп потребляют известное количество электроэнергии (кроме ламп с регулируемой освещённостью) энергию, расходуемую на освещение, определить легко.

Пример вычисления расхода электроэнергии на освещение представлен в *табл. 3*.

**Таблица 3**

Территория	Установленная мощность (кВт)	Годовая эксплуатация		Годовое потребление (кВт·час)
		(час.)	Коэф. нагрузки	
Офисный блок	24	2400	0,5	28800
Механический цех	62	4900	0,8	243040
Литейный цех	48	4900	0,8	188160
Склад	18	2400	0,5	21600
Отдел инженерии	17	2400	0,7	28560
Внешнее освещение	11	3600	0,9	35640
<b>ИТОГО</b>	<b>180</b>			<b>545800</b>

*Информация, которую необходимо учитывать, оценивая потребление энергии осветителями:*

### Максимально допустимая мощность оборудования

- Это мощность лампы (Вт) плюс потери в ЦЕПИ УПРАВЛЕНИЯ (Вт) для флюоресцентных и газоразрядных ламп.
- Вольфрамовые лампы накаливания и вольфрамово-галогенные лампы напряжением **220 В** не требуют никакого механизма управления.
- Потери в преобразователе вольфрамово-галогенных ламп низкого напряжения обычно достигают **10 %** мощности ламп.

### Коэффициент средней нагрузки

- Должны приниматься во внимание лампы, работающие в режиме регулируемой освещённости.
- Необходимо учитывать техническое обслуживание осветительного оборудования. Например, заводские цеха с высокими пролётами могут иметь в среднем **10-20 %** неисправных ламп между интервалами текущего ремонта.

### Годовое использование оборудования

- Оценивается, исходя из часов работы с учётом загрузки (офисы) и периодов использования естественного освещения.
- Необходимо учитывать имеющееся автоматическое управление.



## 5.2 ЭЛЕКТРОПРИВОДЫ ВЕНТИЛЯТОРОВ И НАСОСОВ

Создание движущей силы - это один из самых распространённых видов использования электроэнергии. Обычно двигатели применяются в таком оборудовании как вентиляторы, насосы, лифты, конвейеры или компрессоры. Пример расчёта количества электроэнергии, потреблённой вентиляторами показан в *табл. 4*.

**Таблица 4.**

Установка	Мощность двигателя (кВт)	Годовая эксплуатация (час× K <sub>исп</sub> )	Годовое потребление (ГДж)
Подача воздуха в админ. здание	3,75	8760×0,5	59,13
Вытяжка в админ. помещении	3,30	8760×0,5	52,03
Подача воздуха в палату 5 / 6	4,12	8760×1,0	129,93
Подача воздуха в палату 3 / 4	4,12	8760×1,0	129,93
Подача воздуха в палату 1 / 2	4,12	8760×1,0	129,93
Подача воздуха в палату 15 / 16	4,12	8760×1,0	129,93
Подача воздуха в палату 17 / 18	2,25	8760×1,0	70,96
Подача воздуха в палату 19 / 20	2,25	8760×1,0	70,96
Подача воздуха в палату 11 / 12	2,25	8760×1,0	70,96
Подача воздуха в прачечную	0,50	8760×0,3	4,73
Вытяжка в прачечной	0,22	8760×0,3	2,08
Подача воздуха в палате 9	2,25	8760×1,0	70,96
Подача воздуха в столовую	1,50	8760×1,0	47,30
Подача воздуха в кухню	7,50	8760× -	-
Вытяжка в кухне 1	0,82	8760×0,6	15,52
Вытяжка в кухне 2	1,20	8760×0,6	22,71
Вытяжка в кухне 3	1,10	8760×0,6	20,81
Подача воздуха в холл	3,75	8760×1,0	118,26
Вытяжка в холле	3,30 (est)	8760×1,0	104,07
Подача воздуха в коридор	3,75	8760×1,0	118,26
Подача воздуха в физиотерапевтическое отделение	1,12	8760×1,0	35,32
<b>ИТОГО</b>	<b>57,29</b>	<b>-</b>	<b>1403,78</b>

*Информация, которую необходимо учитывать при оценке потребления электроэнергии вентиляторами и насосами:*

### Максимально допустимая мощность оборудования

- Мощность двигателя обычно указана на информационной табличке.

### Коэффициент средней нагрузки

- Можно определить с помощью имеющегося амперметра.
- Можно вычислить путём измерения расхода воздуха/воды, который сравнивается с максимально допустимой нормой, и затем соответственно определить величину энергопотребления.
- Необходимо учитывать системы автоматического управления, такие как приводы с регулируемой скоростью.

### Годовая эксплуатация оборудования

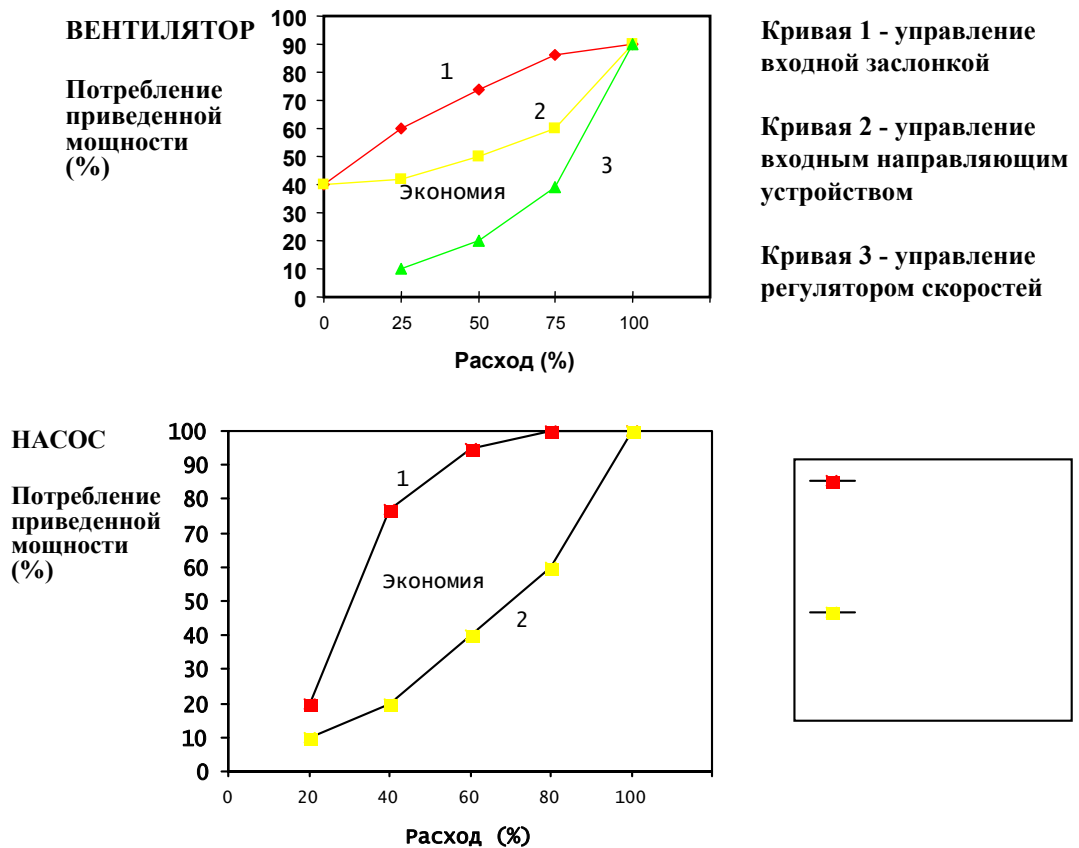
- Подразумевает использование оборудования, обслуживаемого вентилятором или насосом.
- Учитывает нахождение двигателя в состоянии нагруженного/ненагруженного резерва.

- Учитывает системы автоматического управления.

Рассмотрим графики энергопотребления для вентилятора и насоса. Количество электроэнергии, потреблённой вентиляторами или насосами зависит от мощности двигателя и производительности.

Двигатель работает на полную мощность вентилирования или накачивания запланированного максимального количества воздуха или воды, будет работать с установленной постоянной объёмной нагрузкой и, следовательно, с установленной постоянной нагрузкой потребления электроэнергии. Когда поток воды или воздуха уменьшается, потребление двигателем энергии также должно уменьшиться. Уменьшение потребления энергии зависит от используемого метода регулирования потока.

Графики на *рис. 11* показывают соотношение между потоком жидкости или газа и потребляемой двигателем энергии для различных методов регулирования потоков. В обоих случаях заметно, что использование механических приспособлений, таких как заслонки и задвижки, менее эффективно, чем использование электронных регуляторов скорости двигателя, таких как частотно регулируемые электроприводы.



*Рис. 11.*

Таким образом, рассчитывая потребление энергии электроприводами вентиляторов и насосов, энергоаудитор должен принимать во внимание все перечисленные факторы. Учитывая эти детали, можно выявить потенциальные возможности энергосбережения, например, посредством более эффективного управления потоками.

### 5.3 ВОЗДУШНЫЕ И ХОЛОДИЛЬНЫЕ КОМПРЕССОРЫ

Управляемые электродвигателями воздушные и холодильные компрессоры по виду системы контроля делятся на четыре главных вида:

**Контроль включения/выключения:** Используется, главным образом, для небольших поршневых компрессоров. Компрессор повышает давление воздуха в системе и, при достижении определённого уровня давления, останавливается. Когда давление падает, компрессор снова включается.

**Контроль с нагрузкой/без нагрузки:** Используется для более крупных поршневых компрессоров, в которых слишком много включений могут вызвать сгорание двигателя. В ситуации, когда достигнут желаемый уровень давления, используются клапаны, позволяющие поршням двигаться вверх и вниз без подачи в приёмное устройство сжатого воздуха. Этот метод позволяет сэкономить большое количество энергии, когда электродвигатель включается, хотя компрессор всё ещё использует значительное количество энергии, работая без нагрузки.

**Контроль с полной/половинной нагрузкой/без нагрузки:** Это подвариант указанного выше метода контроля, при котором существует стадия между положением полной нагрузки и положением без нагрузки, во время которой механизм используется наполовину, чтобы сократить уровень выработки воздуха.

**Контроль полного регулирования:** Этот метод обычно используется при работе с роторными винтовыми компрессорами или турбокомпрессорами и позволяет вырабатывать воздух в соответствии со спросом на него. В некоторых случаях возможно достигать уменьшения соотношений до 3:1 или 4:1. Обычно для этого используется регулировка рабочего объёма цилиндров винта или турбины, хотя на некотором оборудовании используются двигатели с переменной скоростью. Однако всегда при уменьшении нагрузки наблюдается снижение эффективности.

Информация, которую необходимо учитывать при оценке электроэнергии, потреблённой воздушными и холодильными компрессорами:

#### Максимально допустимая мощность двигателя

- Мощность обычно указывается на информационной табличке двигателя.

#### Коэффициент средней нагрузки

- Оценка коэффициента нагрузки обычно базируется на измерении времени работы компрессора на различных стадиях контрольного режима.
- Данные о типичных нагрузках двигателя на различных стадиях контрольного режима обычно имеются у производителей компрессоров.

#### Годовая эксплуатация

- Основывается на количестве часов, в течение которых требуется сжатый воздух/охлаждение.

Рассмотрим режим работы воздушного компрессора.

Поршневой воздушный компрессор, вырабатывающий воздух при давлении в 7 бар, для обеспечения требуемого давления в системе распределения сжатого воздуха работает на цикле полной нагрузки/половины нагрузки/без нагрузки. Энергоаудитор отмечает время работы компрессора на различных стадиях производства (определяемых звуком и показателем изменения давления воздуха) в течение примерно двадцати минут в условиях нормального функционирования.

Результаты измерений показаны на графике *рис. 12* и в *табл. 5*.

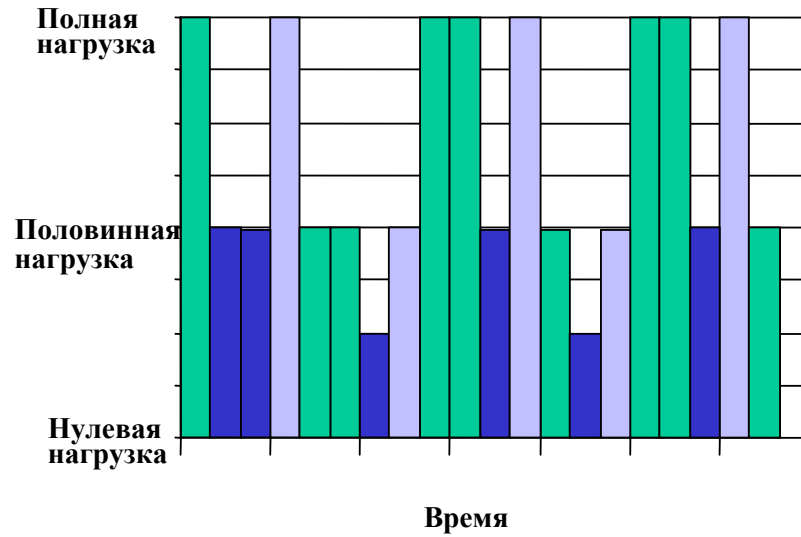


Рис. 12.

Таблица 5

Уровень нагрузки	Секунды	%
Полная нагрузка	371	31
Половинная нагрузка	697	59
Без нагрузки	115	10
<b>ВСЕГО</b>	<b>1183</b>	<b>100</b>

Из данных производителей мы определяем такие характеристики компрессора, как величина энергопотребления и выработки воздуха (табл. 6):

Таблица 6.

Условие	Потребление электричества, кВт	Сжатый воздух (с.с. fm)
Полная нагрузка	120	828
Половинная нагрузка	73	394
Без нагрузки	34	0

Табл. 6 показывает, как выработка воздуха и потребление электроэнергии изменяется на различных стадиях работы компрессора. С использованием этих данных произведён расчёт среднего потребления энергии компрессором.

$$\text{Среднее потребление} = \frac{(120\text{кВт} \cdot 371\text{сек.}) + (73\text{кВт} \cdot 697\text{сек.}) + (34\text{кВт} \cdot 115\text{сек.})}{1183\text{сек}} = 84\text{кВт}$$

Таким же способом можно рассчитать среднюю норму выработки воздуха. Затем, для определения размера утечки воздуха, например, из-за неправильной эксплуатации, эту среднюю норму можно сравнить с суммой номинального потребления воздуха всем задействованным воздушно - компрессорным оборудованием.

#### 5.4 ДРУГИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДЫ и ОФИСНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Кроме вентиляторов, насосов и компрессоров, вращательные электроприводы применяются и в другом оборудовании. Примерами могут служить лифты, конвейеры,

вакуумные насосы и сервисные двигатели для автоматического оборудования. Для расчёта энергопотребления таким оборудованием не существует чётких фиксированных руководств. Каждый пример должен рассчитываться индивидуально.

Таблица 7.

Наименование	Производительность	Модель	Паспортные данные, Вт	Средний расход энергии, Вт	% к паспортным данным
<b>ПЕРСОНАЛЬНЫЕ КОМПЬЮТЕРЫ</b>					
	A	a	140	49	35
		b	140	128	91
	B	a	90	30	33
		b	132	58	44
<b>МОНИТОРЫ</b>					
	A	a	60	32	53
		b	60	52	87
	C	a	205	198	97
		b	205	106	52
<b>ПЕРСОНАЛЬНЫЕ КОМПЬЮТЕРЫ С МОНИТОРАМИ</b>					
	B	a	185	90	49
		b	212	119	56
		c	287	102	36
<b>ЛАЗЕРНЫЕ ПРИНТЕРЫ</b>					
	D	a	850	75	9
		b	850	129	15
		c	900	95	11
	E	a	800	124	16
<b>КОПИРОВАЛЬНЫЕ АППАРАТЫ</b>					
	F	a	1250	126	10
		b	1600	459	29
		c	2200	988	45
<b>ТОРГОВЫЕ АППАРАТЫ</b>					
	G	a	2800	660	24
	H	a	3000	254	9

Использование Информационных Технологий (ИТ), таких как персональные компьютеры, принтеры и другое офисное оборудование, предполагает рост потребления энергии. На практике, простейший способ расчёта энергопотребления перечисленным оборудованием заключается в подсчёте часов использования за год и использовании норм потребления из *табл. 7*.

## **5.5 ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЬНОЕ И ХОЛОДИЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ**

Электронагревательное оборудование содержит широкий спектр категорий:

- Оборудование предприятий общественного питания (а именно, электрические печи)
- Оборудование прачечных (сушильные камеры)
- Испытательное оборудование (установки климатического испытания)
- Электрическое оборудование, вырабатывающее пар (фабричные прессы, паровые стерилизаторы)
- Высокотемпературные процессы (плавка алюминия)
- Электротепловая технология (инфракрасный, индукционный нагрев, высокочастотный нагрев, прямой нагрев)

Холодильное оборудование обычно включает парокомпрессионный цикл теплового насоса, управляемый электроприводом, но также могут использоваться электронагревательные пароабсорбционные циклы.

Вряд ли будет требоваться оценка энергопотребления высокотемпературных и электронагревательных процессов, так как эти процессы обычно оборудованы собственными счётчиками. Однако для небольших пользователей оценка потребления - обычно единственный практический путь к расчёту количества потребляемой энергии. Пример расчёта потребления для электронагревательного и холодильного оборудования показан в *табл. 8*.

Таблица 8.

Устройство	Мощность (кВт)	Годовое использование (час× $K_{исп}$ )	Годовое потребление (ГДж)
1×Стиральная машина	2,0	1040×0,6	4,49
1×Туннельная стиральная машина	86,0	1040×0,5	160,99
1×Печь	9,0	4992×0,2	32,35
1×Центрифуга	2,2	208×1,0	1,65
3×Центрифуга	2,0	26×1,0	0,56
2×Центрифуга	2,0	26×1,0	0,37
1×Сублимационная установка для сушки ВКА 28	7,5	4680×1,0	126,36
1×Сублимационная установка для сушки ВКА 25	7,5	2600×1,0	70,20
1×Сублимационная установка для сушки ВКА 6	4,0	2340×1,0	33,70
1×Наполняющее оборудование	2,0	1040×1,0	5,99
5×Стиральная машина	1,0	1040×0,6	11,23
1×Центрифуга	2,0	26×1,0	0,19
1×Сублимационная установка	1,0	3744×0,7	9,43
4×Холодильники	0,22	8756×0,3	8,33
Другое оборудование цеха	42,0	104×0,8	15,71
<b>ИТОГО</b>	<b>170,42</b>		<b>481,56</b>

Информация, которую необходимо учитывать при оценке электроотопительных нагрузок:

#### Номинальная мощность оборудования

- Обычно указывается на информационной табличке оборудования
- Не забудьте учесть данные как об электроприводах, так и об отопительных нагрузках в случае, если они учитываются отдельно.

#### Коэффициент средней нагрузки

- Учитывает как периоды “нагрева” (когда оборудование работает на полную мощность), так и периоды “поддержания температуры” (при частичной нагрузке оборудования, а именно, на 30%).

- Следовательно, оборудование, работающее в течение коротких циклов, будет иметь более высокий коэффициент нагрузки, чем оборудование, работающее на одном уровне нагрузки в течение продолжительного периода.

#### **Годовое использование оборудования**

- Оценка часто проблематична. Наилучший метод оценки часов работы оборудования - опрос операторов.

## **5.6. ПАРОНАГРЕВАЕМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ**

Примеры типичного паронагреваемого оборудования:

#### **Оборудование предприятий общественного питания**

(варочные котлы, пароварочные аппараты)

#### **Оборудование прачечной**

(стиральные машины, сушильные камеры)

#### **Процессы нагнетания пара**

(автоклавные стерилизаторы, каустические резервуары)

#### **Среднетемпературные процессы**

(кубовые красители, текстильная сушка, производство бумаги)

Для крупных потребителей технологического пара, паропотребление может определяться другими средствами, такими как непосредственное измерение или анализ энергопотоков. Однако для небольших потребителей оценка потребления - обычно единственный практический путь к расчёту количества потреблённой энергии.

Информация, которую необходимо учитывать, оценивая паропотребительные нагрузки:

#### **Максимальная норма потребления пара**

- Обычно указывается на информационной табличке оборудования.
- Максимальная норма потребления пара предполагает определённое давление пара. Отклонение давления пара от данного значения должно быть учтено.

#### **Коэффициент средней нагрузки**

- Учитывает как периоды “нагрева“ (когда оборудование работает на полную мощность), так и периоды “поддержания температуры“ (при частичной нагрузке оборудования, а именно, на **30%**).
- Следовательно, оборудование, работающее в течение коротких циклов, будет иметь более высокий коэффициент нагрузки, чем оборудование, работающее на одном уровне нагрузки в течение продолжительного периода.
- Некоторое паронагреваемое оборудование имеет только ручное управление и, постоянную норму потребления пара.

#### **Годовое использование оборудования**

- Оценка часто проблематична. Наилучший метод оценки часов работы оборудования - опрос операторов.

Пример оборудования, потребляющего пар, приведен в *табл.9*.

Таблица 8.

Оборудование	Норма потребления (кг/ час)	Годовое использование (час)	Годовое потребление (ГДж)*
1×Стиральная машина	10	1040	24,22
2×Стиральная машина	9	1040	43,60
4×Автоклавы	400	780	3282,24 (1)
2×Пастеризационные ванны	30	2340	326,99
1×Сублимационная установка SM600	150	156	54,50
1×Сублимационная установка SM200	100	156	36,33
1×Сублимационная установка ЕК4	150	156	54,50
2×Автоклавы	250	520	683,80 (1)
2×Эталонный коллектор	40	4992	1050,32 (1)
<b>ИТОГО</b>	<b>1139</b>	<b>-</b>	<b>5556,50</b>

\* Данные величины не учитывают потери котла. При средней эффективности котла, равной **82,1%**, валовое энергопотребление составляет **6767,97 ГДж**.

Учтён тот факт, что эти элементы установок не возвращают конденсат.

## 5.7. ГАЗОНАГРЕВАЕМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Примеры типичного газонагреваемого оборудования:

**Оборудование предприятий общественного питания**

(газовые печи)

**Оборудование прачечной**

(сушильные камеры)

**Среднетемпературные процессы**

(стенторы, цилиндры Янки)

**Высокотемпературные процессы**

(топочные камеры)

Для крупных пользователей высокотемпературных процессов газ обычно измеряется счётчиками либо размер его потребления может быть выведен из анализа потоков. Для небольших потребителей, оценка потребления - обычно единственный практический путь к расчёту количества использованной энергии. Пример оценки потребления для газонагреваемого оборудования представлен в **табл. 10**:

Таблица 10.

Газовое оборудование	Британская тепловая единица (Бте/час)	Использование (час/день) (коэффициент нагрузки)	Годовое потребление (ГДж)
4×Варочные котлы	80000 (оцен.)	5,0×0,3	184,85
1×Печь / Обогревающая плита	58000 (оцен.)	-	-



<i>1×Печь</i>	<i>97000 (оцен.)</i>	<i>-</i>	<i>-</i>
<i>1×Печь</i>	<i>127000 (оцен.)</i>	<i>9,0×0,4</i>	<i>176,07</i>
<i>1×Двойной вулканизированный осахаритель</i>	<i>74000 (оцен.)</i>	<i>8,0×0,7</i>	<i>159,59</i>
<i>1×Жаровня</i>	<i>25000</i>	<i>0,2×1,0</i>	<i>1,93</i>
<i>1×Вулканизированный осахаритель</i>	<i>80000</i>	<i>3,0×0,8</i>	<i>147,88</i>
<b><i>ИТОГО</i></b>			<b><i>670,32</i></b>

## 6. ПЕРЕКРЁСТНАЯ ПРОВЕРКА ДАННЫХ

Для обеспечения достоверности исходной информации после завершения предварительной оценки энергопотребления энергоаудитор должен заняться сверкой данных путём суммирования всех потребителей электроэнергии, всех потребителей пара и т.д. Во время сверки данных часто выявляются несоответствия, т.е. оценки индивидуального энергопотребления не всегда согласуются с общим измеренным энергопотреблением. ПЕРЕКРЁСТНАЯ ПРОВЕРКА данных - это процесс выявления этих несоответствий.

Существует несколько различных методов проверки правильности измеренного или оцененного энергопотребления:

- Входной/выходной топливно-энергетический баланс
- Баланс массы
- Эффективность использования энергии
- Сравнение с показателями работы

Приведем примеры использования каждого метода.

### 6.1. ВХОДНОЙ/ВЫХОДНОЙ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ БАЛАНС.

#### *потребление заводом электроэнергии*

Для наглядности рассмотрим пример аудита электроэнергии на заводе. Аудитор рассчитал годовое потребление электроэнергии, разделив его на четыре категории использования: освещение, вентиляция, сжатый воздух и непроизводительные потребители. Затем он измерил потребление электроэнергии за год каждой из этих категорий.

**Общее энергопотребление за год:** 4 203 250 кВт час

(По данным электросчётчика компании)

**Проверенное потребление энергии**

Освещение = 980 000 кВт час

Вентиляция = 250 000 кВт час

Сжатый воздух = 1 412 000 кВт час

Непроизводительные

Потребители = 1258 500 кВт час

**ВСЕГО = 3 900 500 кВт час**

**Другое потребление = 302 750 кВт час = 7,2 % общего потребления**

Вычислив общую сумму потребления, аудитор заметил, что эта величина на 7,2% меньше аналогичной величины, зафиксированной заводскими электросчётчиками. В этом случае небольшое количество потреблённой энергии, выявленное в ходе перекрёстной проверки, может быть легко отнесено на разнородные небольшие потребители, что и подтверждают его расчёты.

Если разница оказывается слишком большой или отрицательной, она выявляет ошибку в аудите, которая затем должна быть перепроверена.

### 6.2. ВХОДНОЙ/ВЫХОДНОЙ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ БАЛАНС.

#### *паровой котел*

В данном примере показаны предварительные результаты энергоаудита котельной, при котором потреблённое топливо и выработанный пар умножают на их теплотворность и на чистую энтальпию. Таким образом данные величины переводят единицы энергии, в описываемом примере, в ГДж.

Сравнение величин по потреблению топлива и по выработке пара указывает на нереально высокую эффективность котла и, следовательно, выявляет неточность некоторых данных, нуждающихся в перепроверке.

<i>Общее потребление топлива</i>	= 1 590 000 литров
<i>Высшая теплотворная способность</i>	= 40,1 МДж/л
<i>Всего топливной энергии</i>	= 63 759 ГДж
<i>Всего выработанного пара</i>	= 25 200 тонн
<i>Энтальпия пара</i>	= 2 730 кДж/кг
<i>Энтальпия питательной воды котла</i>	= 293 кДж/кг
<i>Всего энергии пара</i>	= 61 412 ГДж

**Рассчитанная эффективность = 96,3 %**

### **6.3. БАЛАНС МАССЫ пара и конденсата**

Диаграмма на *Рис. 13* иллюстрирует потоки пара и воды, которые могут быть измерены внутри системы парогенерирования и утилизации. Мы уже видели, как подобная схема используется в расчёте энергопотребления. Кроме того, она может быть использована в перекрёстной проверке энергопотребления. Например, энергоаудитор рассчитал потребление пара теплообменниками и пароинжекторами. Эти величины суммируются и, в ходе перекрёстной проверки, сравниваются с общим числом выработанного пара. Если оказывается, что сумма пара, потреблённого теплообменниками и пароинжекторами больше общей величины произведённого пара, то становится очевидным тот факт, что, по крайней мере, одно из этих трёх измерений не верно.

Следующим шагом в данной ситуации должна быть проверка точности работы счётчика пара. Для этого сравнивают работу парового счётчика с работой счётчика питательной воды (если таковой имеется) или с величиной потребления топлива, умноженной на измеренную эффективность горения. Если эти проверки показывают, что счётчик пара работает точно, то потребление пара теплообменниками и (или) пароинжекторами переоценено.

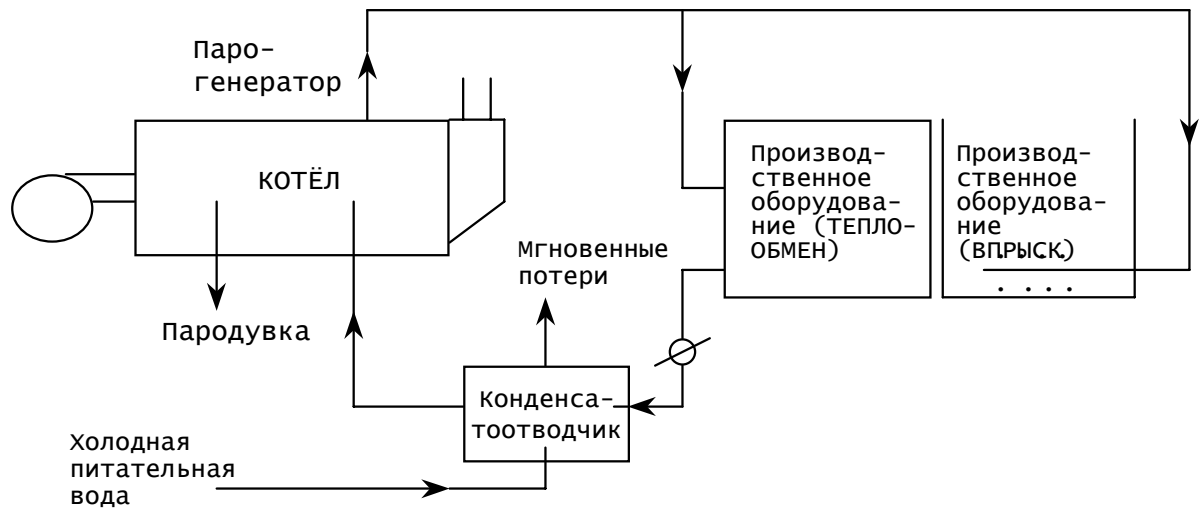
*Проводя аудит этой системы, мы можем использовать следующие отношения баланса массы для перекрёстной проверки оценок энергетических потоков.*

**Выработанный пар (кг) = Подпитка котла (кг) - Продувка (кг);**

**Снабжение котла (кг) = Возвратный конденсат (кг) + Холодная питательная вода (кг) - Мгновенные потери конденсатоотводчика (кг);**

**Выработанный пар (кг) = Производственное оборудование, Теплообменники (кг) + Производственное оборудование, Впрыск пара (кг) + Утечки пара (кг);**

**Холодная подпиточная вода (кг) = Производственное оборудование, Впрыск пара (кг) + Утечки пара (кг) + Мгновенные потери (кг) + Продувка (кг)**

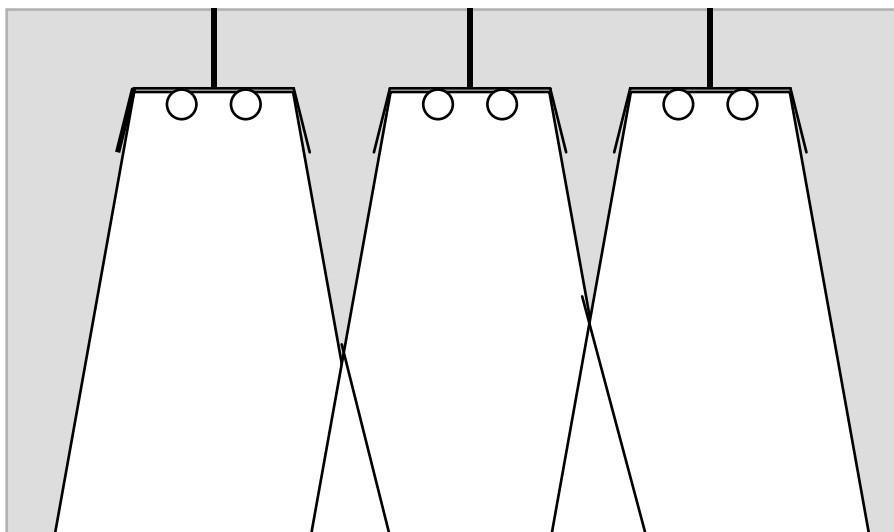


*Рис. 13.*

Следующий этап - сравнение количества потреблённого инжекторами пара с количеством свежей питательной воды, допустив, что эта величина измерена. Нам известно, что количество питательной воды равно количеству пара, потреблённого инжекторами плюс продувка, утечки и мгновенные потери. Величину продувки котла определить относительно просто, исходя из давления котла, диаметра продувочной трубы, длительности и частоты продувок. Аналогично, существуют другие способы подсчёта утечек пара и мгновенных потерь пара, которые можно использовать после исследования системы парораспределения. При условии, что количество пара, потреблённое пароинжекторами, очень значительно по сравнению с выше указанным, это количество может быть точно подсчитано, и мы можем абсолютно точно сформулировать размер потребления пара как теплообменниками, так и пароинжекторами.

#### **6.4. ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ. мощность освещения и достигнутая освещенность**

На *Рис. 14* показано, как измерение силы света может быть использовано для оценки электрической нагрузки осветительного оборудования.



**Рис. 14.**

- Завод освещается флюоресцентными лампами с оцененной установленной мощностью 53 кВт.
- С использованием 'фотометрических данных', полученных от производителей ламп, а также с учётом измеренных размеров здания, цвета пола, крыши и стен, энергоаудитор рассчитывает ожидаемую освещённость на уровне 300 люкс.
- Аудитор измеряет достигнутые уровни освещённости и находит их равными диапазону от 180 люкс до 380 люкс, в среднем 280 люкс.
- Следовательно, измеряемая величина поддерживает оценку аудитора, данную на основе установленной мощности осветительного оборудования.

**6.5 СРАВНЕНИЕ С ПОКАЗАТЕЛЯМИ РАБОТЫ**

Этот метод перекрёстной проверки сравнивает измеренное аудитором потребление энергии с переменной, которая считается надёжным показателем того, сколько следует использовать энергии.

В **табл. 11** приведены примеры показателей работы, с помощью которых может быть измерено количество использованной энергии. Хотя данные показатели определяют потребление энергии как "хорошее", "слабое", "очень слабое", они также могут использоваться в перекрёстной проверке энергетических данных, чтобы убедиться, что количество энергии уменьшается в допустимых размерах.

**Таблица 10**

<i>Потребление электроэнергии</i>	<i>Типичный показатель работы</i>
<i>Освещение</i>	<i>ГДж/м<sup>2</sup>/год</i>
<i>Отопление помещений</i>	<i>ГДж/м<sup>2</sup>/год</i>
<i>Прачечная</i>	<i>кг пара/кг стирки</i>
<i>Производство бумаги, электроэнергия</i>	<i>ГДж/тонна бумаги</i>
<i>Производство бумаги, ископаемое топливо</i>	<i>ГДж/тонна бумаги</i>

Для главных потребителей энергии - производственных процессов - показатели работы часто

устанавливаются индивидуально для различных стадий.

## 7. ОТЧЁТ ПО ЭНЕРГОАУДИТУ

Отчёт по энергоаудиту представляет читателю информацию о количестве энергии, потребляемой различными видами энергопотребителей (котельные, компрессоры, освещение, производственное оборудование и т.д.). Энергоаудит, как правило, выражает потребление в энергетических и денежных единицах и отражает всю информацию как в таблицах (например, таблица общего количества закупленного топлива) так и в графической форме. Кроме того, энергоаудит рассматривает “коэффициенты стоимости топлива”, с помощью которых сравнивается количество фактически потреблённого топлива на объекте с принятыми нормативами.

Описание завода и зданий характеризует имеющиеся на объекте установки и оборудование, режим их работы и производительности. Например, описание котельной характеризует количество и тип котлов, применяемые режимы управления, а также утверждает, что котёл вырабатывает пар под определённым давлением для определённых потребителей за данный промежуток времени.

Рекомендации по энергосбережению содержат перечень предложений, разработанных в ходе исследования. Эти рекомендации в общем виде могут быть реализованы, как часть кампании по энергосбережению, хотя некоторые из них могут быть взаимоисключающими (например, установка новых регуляторов в системе отопления ИЛИ монтаж новой отопительной системы). Описание путей энергосбережения имеет четыре ключевых момента: (1) что нужно делать, чтобы сэкономить энергию, (2) как эти действия помогут сэкономить энергию, (3) определение количества сэкономленной энергии и капитальных затрат и (4) определение экономической эффективности возможностей энергосбережения.

### 7.1. некоторые общие рекомендации

Отчет по энергетическому аудиту представляет собой документ, в котором отражены результаты обследования объекта. Порядок и полнота изложения должны соответствовать достигнутым договоренностям между заказчиком и исполнителем.

Типичный отчёт по энергоаудиту состоит из трёх основных разделов:

#### **Описание завода и зданий**

- *Существующие установки и оборудование.*
- *Режим работы оборудования.*
- *Оценка эффективности производства.*

#### **Проведение энергоаудита**

- *Измерение потребления энергии.*
- *Анализ информации в табличной и графической формах.*
- *Комментарии по количеству и стоимости потреблённой энергии.*

#### **Рекомендации по энергосбережению**

- *Общее описание предложенных рекомендаций..*
- *Объяснение того, как предложенные действия помогут сэкономить энергию.*
- *Технико-экономическая оценка предложенных рекомендаций..*

Ниже мы рассмотрим методику оформления содержательной части отчета. Что же касается рекомендаций по вводному и заключительному разделам, то они сводятся к следующему.

Цель **вводного раздела** – информировать читателя о подготовке и ходе исследования на объекте, а также об ожидаемых результатах. Введение также должно описывать методику проведения аудита и параметры отчёта (а именно, подчеркнуть или преуменьшить особенности энергопотребления).

Введение обычно охватывает следующие пункты:

- **Реализация отчёта по энергоаудиту** (*отчёт реализуется компанией/консорциумом, которые готовят отчёт, которые производят проверку на объекте*)
- **Обоснование проекта** (*является ли данный проект одним из нескольких проектов для различных подразделений компании? Является ли он частью новой кампании энергоменеджмента?*)
- **Цели проекта** (*выявить потенциальные энергосбережения*)
- **Параметры отчёта** (*намеревается ли отчёт подчеркнуть особые аспекты энергопотребления либо исключить определённые типы энергопотребления, так как они являются частью отдельного исследования?*)
- **Методы проведения проверки** (*использование измерителей, визуальное изучение оборудования, анализ сложившихся с течением времени энергетических данных*).

*Заключения по менеджменту объясняют ситуацию прошедших периодов, выявленную аудитом, и определяют важные пункты, касающиеся использования энергии. Заключение должно направлять менеджмент по рекомендованному курсу действий, призванных улучшить эффективность использования энергии на объекте, а также освещать выгоды и последствия, к которым может привести экономия. Кроме того, данный раздел должен быть написан понятно и кратко, обходя чрезмерное употребление технической лексики.*

*Заключение по менеджменту обычно охватывает следующие моменты:*

- **Существующее положение дел на исследуемом объекте** (*использование энергии как слабое, удовлетворительное, хорошее; энергопотребление по сравнению с другими объектами*)
- **Основные пункты энергоисследования** (*исключительно высокий/низкий уровень использования энергии*)
- **Обоснование необходимых перемен** (*рекомендуемый курс действий, альтернативные действия*)
- **Прогнозируемый результат** (*получение экономических выгод в будущем при условии, что рекомендации будут реализованы*)

Пункты, содержащиеся в разделе **выводов**, в основном аналогичны пунктам заключения, однако, они сфокусированы на действиях, предпринятых аудитором в ходе работ. Поэтому выводы содержат данные об исследовании объекта и источники получения необходимой информации. Вывод приводит сумму общего потенциала энергосбережений и представляет обоснованные аргументы в пользу одних рекомендаций по сравнению с другими. Наконец, выводы обосновывают дальнейшие необходимые исследования и/или действия, которые должны быть предприняты объектом и указывают общую рассчитанную выгоду от этих действий.

Раздел выводов обычно охватывает следующие моменты:

- **Решения и выводы энергоаудита** (*подразделение энергии на различные категории, выявленные несоответствия или неправильное энергопотребление, сравнение энергопотребления на объекте с другими аналогичными объектами*)

- **Заключение по энергосберегающим рекомендациям** (стоимость и выгоды от реализации безрасходных, высоко- и низкорасходных рекомендаций, альтернативные энергосбережения)
- **Рекомендуемые действия и прогноз** (рекомендации, по КОТОРЫМ внедряются энергосберегающие меры, прогнозы энергосбережений на объекте после осуществления мер)
- **Следующий шаг** (дальнейшие необходимые детальные исследования, работа, которую необходимо выполнить самой компании, процессы поведения тендера).

## 7.2. ОПИСАНИЕ ЗАВОДА И ЗДАНИЙ

“Описание завода и зданий” входит в отчёт по энергоаудиту как запись наблюдений энергоаудитора, на которых он основывал свою проверку и давал рекомендации по энергосбережению.

*Энергия, поставленная на объект:* Следует представить краткое описание оборудования по поставке энергии (трубы, регуляторы давления и главные щиты ввода электроэнергии), а также оборудование по хранению топлива, главное измерительное оборудование и централизованное оборудование по компенсации коэффициента мощности.

*Оборудование по Преобразованию Энергии:* Этот пункт приводит описание такого оборудования, как котлы, системы КТЭ, воздушные компрессоры, холодильные установки.

*Распределение Энергии:* В данной секции содержится информация о системах распределения энергии, в частности, системы распределения ледяной воды, системы распределения горячей воды, системы пароконденсации и системы распределения сжатого воздуха. Комментарии должны ориентироваться на эффективность работы перечисленных систем и уделять особое внимание причинам потерь энергии, таким как слабая (плохая) изоляция или утечки.

*Оборудование потребляющее электроэнергию:* Здесь следует описать оборудование, потребляющее первичную или вторичную энергию. Это оборудование включает производственные механизмы, системы отопления и горячего водоснабжения (ГВС), осветительное оборудование, офисное оборудование и т.д. Описание обычно содержит название (или тип) установленного оборудования, нормы энергопотребления (если это возможно), описание автоматических систем контроля и/или процедуры ручного управления. Если использование оборудования имеет измеряемые элементы, такие как температура, сила света и норма производительности, это также нужно отметить.

*Структура здания:* Этот раздел приводит описание элементов конструкции здания с точки зрения дизайна и использованных материалов. Например, может быть установлено, что стены сделаны из кирпича или бетона, окна - из стеклопакета или с одинарным остеклением, имеет ли здание плоскую крышу или со скатами. Описание также должно содержать данные о существующем в здании вентилировании: естественном или принудительном. Эти элементы в совокупности с размерами здания могут быть использованы для расчётов теоретически требуемого отопления внутренних помещений. Затем результаты расчётов можно сравнить с фактическим потреблением энергии на отопление. В описание следует включить время занятости здания работниками, чтобы проверить работу установок, регулирующих фактическое время отопления здания.

Аспекты энергопотребления, представленные выше, часто входят в описание специфической КАТЕГОРИИ энергопотребления. В отчётах по энергоаудиту раздел “Описание завода и зданий” обычно подразделяется скорее на категории (чем на аспекты энергопотребления), которые формируют названия разделов:



**Категории потребителей энергии:**

- Здания
- Котельная установка
- Система парораспределения
- Холодильная система
- Установка отопления
- Подача горячей воды
- Производственное оборудование, потребляющее пар
- Подача и распределение электроэнергии
- Система сжатого воздуха
- Системы вентиляции и кондиционирования
- Производственное оборудование, потребляющее электроэнергию
- Производственное оборудование, работающее на газе / нефтепродуктах
- Офисное оборудование, разнородное энергопотребление
- Освещение
- Оборудование предприятий общественного питания
- Оборудование прачечных
- Другие потребители.

Первый раздел должен представлять собой не просто перечень оборудования. Он должен также включать комментарии и наблюдения о способах использования энергии. Можно рекомендовать следующие пункты для включения в раздел:

- **Физическое описание оборудования** (тип, номер модели, мощность, системы управления)
- **Как оно используется** (что оно делает? часы эксплуатации, система управления)
- **Измеряемые величины** (электроэнергия, норма расхода жидкости, температура, влажность, уровни освещённости)
- **Общие наблюдения** (эффективность управления, неполадки, несовместимое оборудование)

Для удобства большая часть информации, собранной во время энергетического обследования, может быть представлена в табличной форме. Если таблицы получаются слишком крупными, их следует оформить как приложения.

Типичные примеры данных, включаемых в таблицы и приложения:

- **Перечень оборудования**
  - Перечень осветительного оборудования*
  - Перечень оборудования, отопляющего помещения*
  - Перечень электроприводов*
  - Перечень оборудования предприятий общепита*
  - Перечень оборудования прачечных*
  - Перечень производственного оборудования*
  - Перечень утечек*
  - Перечень неизолированных трубопроводов горячей воды*
- **Измеряемые данные**
  - Данные теста анализа горения*
  - Точечное измерение температуры*
  - Точечное измерение уровней освещённости*

*Измерение потока воздуха/влажности*

- **Графические данные**  
*Энергетические диаграммы оборудования*  
*Фотоснимки (стандартные)*  
*Инфракрасные фотоснимки*

### **7.3 проведение ЭНЕРГОАУДИТА**

Закончив анализ предыстории энергопотребления на объекте, энергоаудитор может приступить к осуществлению энергоаудита, включающего:

- *расчёт потребления энергии различными потребителями,*
- *разделение финансовых расходов на энергию пропорционально между потребителями,*
- *составление энергобаланса,*
- *сравнение энергопотребления с показателями работы,*
- *выявление отклонения в энергопотреблении по сравнению с отраслевыми нормами.*

Данная информация очень важна для клиентов, так как она либо подтверждает, либо рассеивает ранее сложившееся убеждение о размерах энергопотребления в пределах объекта. Тот факт, что информация представлена профессиональными энергетическими консультантами, окинувшими объект “свежим взглядом”, особенно важен.

Иногда в процессе подготовки энергоаудита обнаруживаются отклонения от нормы. Эти отклонения могут быть вызваны неверными счетами поставщиков топлива, в таких случаях иногда можно добиться возврата денег. В другом случае могут быть выявлены отклонения от нормы, вызванные злоупотреблением энергией. В такой ситуации энергоаудит успешно обрисовывает эту негативную практику, тем самым побуждая менеджмент предприятия принять ответственные меры во избежание повторения подобных эксцессов.

Ниже перечислены типичные элементы, составляющие энергоаудит. Эти элементы подробно рассматриваются в нескольких следующих пунктах.

Для достижения целей, перечисленных выше, энергоаудитор использует некоторые (или все) из следующих разделов:

- *Отчёт о годовой закупке топлива*
- *График регрессионного анализа*
- *Таблица энергоаудита*
- *Коэффициенты стоимости топлива*
- *Диаграмма Санкей*
- *Круговые диаграммы энергопотребления*
- *Энергобалансы*
- *Энергетические характеристики.*

В **табл. 12** представлен пример данных по годовому количеству закупленного топлива, в данном случае, электроэнергии. Подобные таблицы обычно составляются из счетов поставщиков энергии и содержат всю необходимую техническую и финансовую информацию. В описываемом примере в таблице используется техническая информация, включающая потребление электроэнергии в месяц (в *кВт·час* и *ГДж*), величину максимального спроса и коэффициент мощности, тогда как финансовая информация делит стоимость электроэнергии на составные компоненты.

Таблица 12.

Месяц	Потребление		Максим. Спрос (кВА)	Коэф. мощнос ти	Постоя н. плата (£)	Оплата при макс. спросе (£)	Стоимос ть единицы (£)	Общая стоимос ть (£)
	(кВт-час.)	(ГДж)						
4/99	13100	47,16	85	0,976	72,50	-	528,19	600,69
5/99	119000	42,84	82	0,976	72,50	-	479,81	552,31
6/99	12800	46,08	90	0,965	72,50	-	516,10	588,60
7/99	9600	34,56	85	0,980	72,50	-	387,07	459,67
8/99	12900	46,44	92	0,967	72,50	-	520,13	592,63
9/99	14200	51,12	96	0,955	72,50	-	572,54	645,04
10/99	15800	56,88	98	0,948	72,50	-	637,06	709,56
11/99	15900	57,24	98	0,948	72,50	220,00	641,09	933,59
12/99	14600	52,56	98	0,955	72,50	528,00	588,67	1189,17
1/2000	18100	65,16	101	0,921	72,50	546,00	729,79	1348,29
2/2000	19300	69,48	100	0,931	72,50	225,00	778,18	1075,68
3/2000	15600	56,16	90	0,965	72,50	-	628,99	701,49
<b>Всего:</b>	<b>173800</b>	<b>625,68</b>	-	-	<b>870,00</b>	<b>1519,00</b>	<b>7007,62</b>	<b>9396,62</b>

С использованием табличных данных мы можем определить стоимость топлива на единицу энергии. Для использования в энергоаудите и расчёта финансовых сбережений, расходы поделены на следующие группы:

<i>Расходы на электроэнергию, средние</i>	<i>15.02/ГДж</i>
<i>Расходы на электроэнергию, исключая постоянные расходы</i>	<i>13.63/ГДж</i>
<i>Расходы на электроэнергию, исключая постоянные расходы и оплату при максимальном спросе</i>	<i>11.20/ГДж</i>

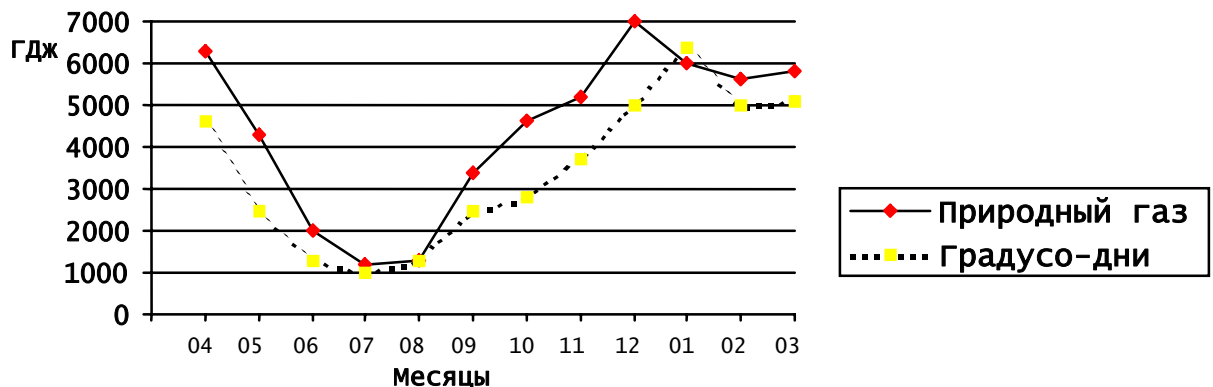
С помощью данной информации мы можем рассчитать среднюю стоимость электроэнергии. Мы также можем рассчитать “предельную” стоимость сбережённой электроэнергии с максимальным “сбережением спроса” или без него. Эта информация

обеспечивает основу для расчёта финансовых сбережений с помощью измеренных энергетических сбережений, которые могут или не могут сократить максимальный спрос, но не сократят постоянную оплату за электроэнергию. Базирование энергосбережений на общей средней стоимости энергии - это обычная ошибка неопытных энергоаудиторов.

*В энергоаудите применяются два типа графиков: линейный график энергопотребления (который также может содержать данные, относящиеся к переменной величине продукции/погоды, с которой сравнивается количество измеряемой энергии), график регрессионного анализа.*

Пример линейного графика энергопотребления представлен на **рис. 15**. Этот график отражает потребление энергии из месяца в месяц. В него также можно включить переменные, влияющие на потребление энергии. В данном примере мы показали потребление газа отопительной системой, работающей на газе и сравнили его с “Градусо - Днями” –изменением температуры воздуха. Чем больше число градусо-дней, тем холоднее погода.

Из данного графика мы можем наблюдать, как изменяется потребление газа с изменением погодных условий. В частности, в декабре и январе наблюдается аномалия, так как газопотребление в январе ниже, чем в декабре, а градусо-дни наоборот, выше в декабре, чем в январе. Такое отклонение может быть вызвано, например, тем, что считывание со счётчика данных за декабрь было отложено на начало января из-за Рождества и Новогодних праздников.



**Рис. 15.**

*Пример графика регрессионного анализа представлен на рис. 16. График показывает результаты регрессионного анализа между потреблением энергии и независимой переменной, в данном примере, между потреблением газа и градусо-днями. На основе данных регрессионного анализа построены кривые потреблений “Базовая нагрузка” и “Переменная нагрузка”, а также коэффициент корреляции. В данном случае наблюдается довольно высокая корреляция, равная 0,91.*

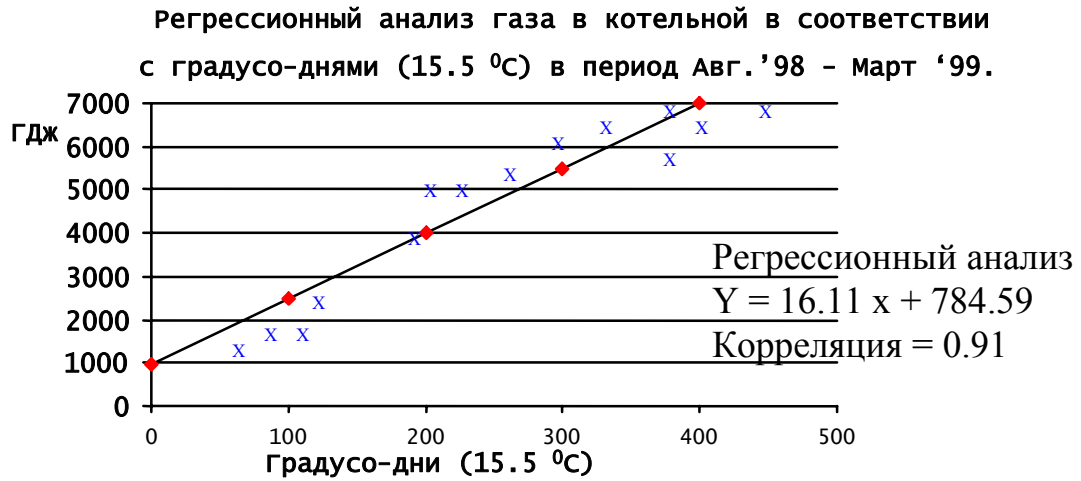


Рис. 16.

Пример таблицы энергоаудита представлен в *табл. 13*. Здесь отражено использование энергии всеми видами топлива, поставленного на объект и поделенного по категориям использования. Энергопотребление каждым пользователем представлено в тех единицах, в которых данная форма энергии обычно закупается, в данном случае, в ГигаДжоулях. Это позволяет нам точно сравнивать использование как электрической энергии, так и газовой.

Таблица энергоаудита суммирует количество энергии, потреблённой каждой категорией энергопользователя (включая 'разнородное' потребление) и делит финансовые расходы пропорционально этому энергопотреблению. Таблица также иллюстрирует процентное потребление и процентную стоимость энергии для каждого потребителя.

Таблица 13.

<i>Потребление</i>	<i>Единицы</i>	<i>ГДж</i>	<i>£</i>	<i>% Потребления</i>	<i>% Стоимости</i>
<u>Эл. энергия</u>	<u>кВт.час</u>				
<i>Внутреннее освещение</i>	<i>115340</i>	<i>415,22</i>	<i>4907,90</i>	<i>7,1</i>	<i>15,9</i>
<i>Внешнее освещение</i>	<i>15811</i>	<i>56,92</i>	<i>672,79</i>	<i>1,0</i>	<i>2,2</i>
<i>Котельная</i>	<i>18905</i>	<i>68,06</i>	<i>804,47</i>	<i>1,2</i>	<i>2,6</i>

<i>Кухни</i>	62115	223,61	2643,07	3,8	8,6
<i>Прачечная накачка воды</i>	81304	292,69	3459,80	5,0	11,2
<i>Накачка воды</i>	96108	345,99	4089,60	6,0	13,2
<i>Офисное оборудование</i>	32116	115,62	1366,63	2,0	4,4
Всего:	421699	1518,11	17944,06	26,1	58,1
<b><u>Газ</u></b>	<b><u>Термы</u></b>				
<i>Отопление помещений</i>	24746,56	2611,01	7859,14	44,9	25,4
<i>ГВС</i>	2311,82	243,92	734,20	4,2	2,4
<i>Кухни</i>	5699,18	601,32	1809,97	10,3	5,9
<i>Прачечная</i>	6687,61	705,61	2123,89	12,2	6,9
<i>Потери распределения</i>	1282,68	132,17	397,83	2,3	1,3
Всего:	40697,85	4294,03	12925,03	73,9	41,9
<b><i>Итого:</i></b>		<b>5812,14</b>	<b>30869,09</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>

**Стоимость топлива:**    *Электроэнергия:*    11.82 £/ГДж

*Газ:*                            3.01 £/ГДж

Финансовая стоимость определяется применением **средней** стоимости топлива к потреблению. Это очень важная табличная колонка, так как она показывает, сколько мы платим за различные услуги энергии. Колонки “Процент потребления” и “Стоимость в процентах” также иллюстрируют важность каждого звена в общем количестве использованной энергии. Следует заметить, что процентная стоимость электричества выше, чем его процентное потребление пользователями, и наоборот для потребителей газа. Это объясняется более высокой стоимостью электроэнергии по сравнению с газом.

#### *Первичная энергия и вторичная энергия*

Энергоаудит рассматривает потребление энергии ВНУТРИ объекта, а следовательно исключает потери энергии, связанные с выработкой энергии на электростанции и передачей её потребителю. В некоторых государствах эти потери традиционно включаются в энергоаудит, деля фактическое потребление энергии объектом на средний национальный коэффициент выработки и распределения электроэнергии (приблизительно от 25% до 35% в большинстве стран).

#### *Эффективность горения в Котле*

Следует заметить, что в данном примере все потери, связанные с горением в котле, разделены между конечными потребителями, т.е. домашними системами горячего водоснабжения и районными отопительными системами. Возможно также выделить

отдельной категорией потери эффективности при горении (т.е. потери “шахты” истощённых горячих газов, выбрасываемых из жаровой трубы котла).

Коэффициенты стоимости топлива соотносят потребление и стоимость энергии с переменной продукцией, погодой, размерами зданий, с которыми коэффициенты могут быть логически сравнены. Таким образом, “ Коэффициенты стоимости топлива” являются простыми показателями работы (ПР). Эти показатели применяются как источники информации о стоимости энергии, использованной в определённых зонах. Они также используются для сравнения эффективности использования энергии на нескольких сравнимых объектах.

Пример типичных коэффициентов стоимости топлива представлен ниже.

**Коэффициенты стоимости топлива:**

<i>Топливо, необходимое для освещения м<sup>2</sup></i>	<i>: 0.070 ГДж</i>
<i>Стоимость топлива для освещения м<sup>2</sup></i>	<i>: £0.805</i>
<i>Топливо, необходимое для отопления м<sup>2</sup> помещений</i>	<i>: 1.68 ГДж</i>
<i>Стоимость топлива для отопления м<sup>2</sup> помещений</i>	<i>: £5.06</i>
<i>Топливо, необх. для обслуживания 1чел. ГВС</i>	<i>: 10.2ГДж</i>
<i>Стоимость топлива для обслуживания 1чел. ГВС</i>	<i>: £30.76</i>
<i>Топливо, необх. для приготовления 1 блюда</i>	<i>: 0.006 ГДж</i>
<i>Стоимость топлива для приготовления 1 блюда</i>	<i>: £0.032</i>
<i>Топливо, необх. для стирки 1набора одежды</i>	<i>: 0.005 ГДж</i>
<i>Стоимость топлива для стирки 1набора одежды</i>	<i>: £0.025</i>
<i>Всего топлива, потребляемого на 1 м<sup>2</sup></i>	<i>: 2.10 ГДж</i>
<i>Стоимость топлива, потребляемого на 1 м<sup>2</sup></i>	<i>: £9.45</i>
<i>Всего топлива, потребляемого на 1 м<sup>3</sup></i>	<i>: 6.30 ГДж</i>
<i>Стоимость топлива, потребляемого на 1 м<sup>3</sup></i>	<i>: £28.35</i>
<i>Общая ограждённая площадь</i>	<i>: 42 000 м<sup>2</sup></i>
<i>Общий ограждённый объём здания</i>	<i>: 126 000 м<sup>3</sup></i>
<i>Количество потребителей</i>	<i>: 800</i>
<i>Годовое количество приготовленных блюд</i>	<i>: 584 000</i>
<i>Годовое число постиранных наборов одежды</i>	<i>: 166 400</i>

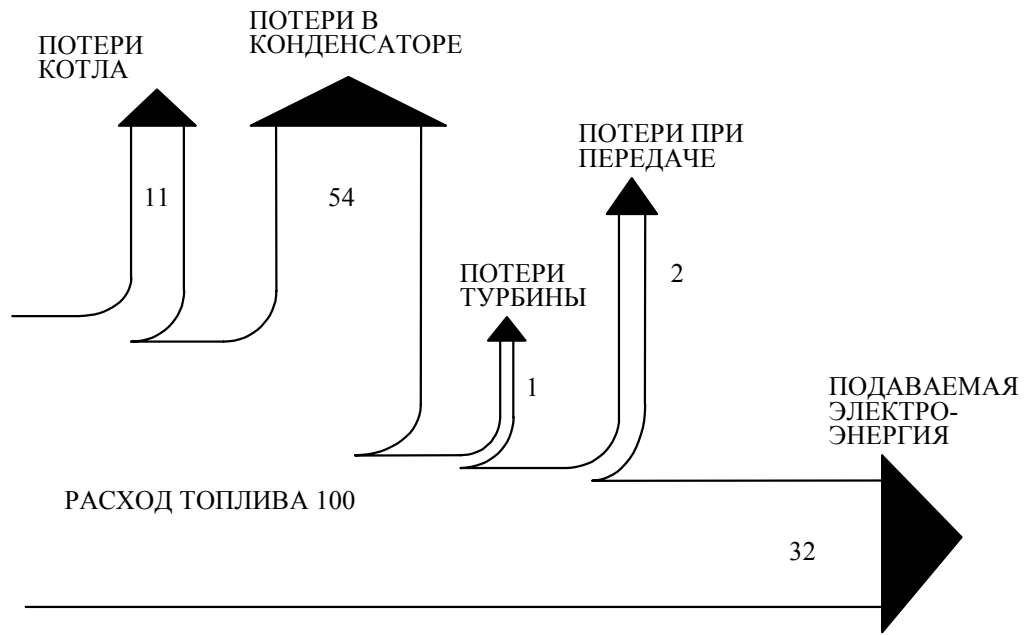


ДИАГРАММА СЭНКИ ДЛЯ СОВРЕМЕННОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Рис. 17.

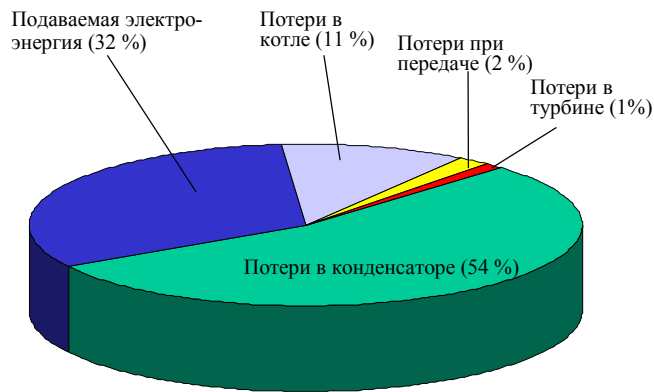


Рис.18

ДИАГРАММА СЭНКИ (рис.17) — это графическое изображение потоков энергии, при котором толщина различных элементов диаграммы пропорциональна содержанию в них энергии. Некоторые диаграммы Сэнки также отражают циклическое движение энергопотоков, например, возврат конденсата в котельную.

Кроме диаграмм Сэнки в энергоаудите используются Круговые диаграммы, с помощью которых можно графически изобразить потребление энергии как в натуральных, так и в

стоимостных единицах (рис. 18).

#### 7.4. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЮ

Третий раздел *Отчёта* содержит рекомендации по экономии энергии. В общем смысле, этот раздел — самый важный в *Отчёте*, так как обоснование действий по энергосбережению — это обычно главная причина, по которой на объекте назначается энергоаудит.



Здесь исследуются различные аспекты рекомендаций по экономии энергии:

*Описание рекомендаций по энергосбережению* - действия, которые должны быть предприняты, новые процедуры, установка нового оборудования.

*Оценка энергосбережений* - расчёт, сколько энергии и денег будет сэкономлено.

*Эффект от экономии энергии*.-как энергосбережения повлияют на показания работы объекта, а именно на показатели эффективности при сокращённой подаче энергии, на расходы по ремонту оборудования, на необходимые изменения в технологии производства.

*Вычисление стоимости проекта* - расчёт общей стоимости мероприятий по внедрению рекомендаций по энергосбережению в отношении стоимости оборудования, рабочей силы, потерь производства.

*Жизнеспособность проекта* - определение, насколько жизнеспособно внедрение рекомендаций по энергосбережению при данных ограничениях, а именно, при требуемых остановках производства, чувствительности цен на топливо, жизнеспособность капитала.

*Выявление менее очевидных энергосбережений* - важно учитывать, что перечисленные рекомендации по экономии энергии—это не только самые очевидные преобразования, как, например, модернизация энергетического оборудования. Должно быть уделено внимание менее очевидным возможностям достижения энергетической эффективности. Примерами “менее очевидных” энергосбережений служит изменение систем энергоснабжения, а именно, применение когенерации или отходов в качестве топлива, или изменение методов производства для использования более дешёвых энергетических ресурсов).

Возможности энергосбережения можно разбить по категориям применения или по альтернативным решениям одной и той же энергетической проблемы. Наиболее часто применяемым подходом является разделение энергосбережений по стоимости мероприятий.

***Беззатратные рекомендации***

- *Более экономное использование имеющихся ресурсов*
- *Необходимое техническое обслуживание*
- *Закупка топлива из более дешёвого источника*

***Низкозатратные рекомендации***

- *Установить более эффективное оборудование*
- *Установить новые (автономные) устройства управления*
- *Изоляция цехов*
- *Незначительное техническое обслуживание*
- *Обучение персонала*
- *Контроль и оперативное планирование*

***Высокозатратные рекомендации***

- *Замена большинства заводских энергетических установок*
- *Установка комплексных систем управления*
- *Когенерация*
- *Рекуперация теплоты*

Каждая рекомендация по энергосбережению должна быть описана в соответствии со следующими пунктами:

**Необходимые переменны**

- Модификация завода и зданий
- Замена оборудования
- Модернизация оборудования/систем управления/изоляции
- Техническое обслуживание оборудования
- Новая процедура управления

**Как эти мероприятия помогут сэкономить энергию (и/или деньги)**

- Сокращение потерь
- Сокращение лишних операций
- Повышение эффективности использования энергии
- Повышение эффективности энергосбережений
- Использование более дешёвых энергетических ресурсов

**Финансовые расходы и выгоды**

- Капитальные затраты
- Амортизация оборудования завода
- Расходы на техобслуживание
- Энергетические расходы
- Анализ эффективности расходов

Рассмотрим на конкретных примерах различные методы экономии энергии. Из примеров видно, что методика оценивания энергосбережений использует ту же логику, что и расчёт энергопотребления на объекте за прошедший период и в настоящее время. Разница заключается в том, что при расчёте энергосбережений мы должны учитывать, как изменится ситуация вследствие внедрения рекомендованных мероприятий. Это влечёт за собой изменение многих коэффициентов, таких как норма потребления, коэффициент использования мощности и время эксплуатации оборудования.

Для некоторых энергосберегающих рекомендаций (а именно, устранение потерь пара), сбережение равно суммарной потере энергии до внедрения рекомендации. Расчёт других рекомендаций более сложен, он включает оценки потребления после улучшений:

	<u>Исходная Ситуация</u>	<u>Улучшенная Ситуация</u>
Мощность оборуд.	$A$ кВт	$X$ кВт
Коэф. средн. нагрузки	$B$	$Y$
Годовая эксплуатация	$C$ час	$Z$ час
Годовое энергопотребление:	$A \times B \times C$ час	$X \times Y \times Z$ кВт·час

Таким образом, годовое энергосбережение рассчитывается по формуле:

$$\text{Годовое энергосбережение} = (A \times B \times C) - (X \times Y \times Z), \text{ кВт} \cdot \text{час}$$

Выше показано, как можно выразить расчёт энергосбережений путём сравнения СУЩЕСТВУЮЩЕЙ СИТУАЦИИ с РАССЧИТАННЫМИ УСЛОВИЯМИ. На практике,

данное сравнение часто требует дополнительных вычислений, чтобы оценить коэффициенты, например, коэффициент использования мощности.

Основные категории изменений в энергопотреблении:

- **Ликвидация прямых потерь** (изоляция труб, устранение утечек, возврат конденсата)
- **Сокращение чрезмерного энергопотребления** (управление временем и температурой, эффективная передача энергии)
- **Сокращение излишней мощности** (использование оборудования с меньшей мощностью, ликвидация подачи энергии в места, где она не нужна)
- **Максимизация эффективности преобразования** (повышение эффективности котла, компрессора)
- **Утилизация отходящего тепла** (рекуперация теплоты, рециркуляция воздуха в системах ГВС)
- **Использование наиболее экономного источника энергии** (более дешёвое топливо, накопление, возобновляемая энергия)

**Пример 1: Энергоэффективное освещение.**

**Задача:** Автостоянка освещается десятью вольфрамово-галогенными лампами мощностью 500 Вт каждая. Лампы включаются и выключаются охранниками вручную, но иногда случайно остаются включёнными в дневное время.

Предлагается в целях экономии энергии заменить эти лампы десятью натриевыми лампами высокого давления мощностью 114 Вт (включая потери механизма управления), но благодаря более высокой эффективности сохраняют такой же уровень освещённости. Кроме того, предложено установить автоматическое управление фотоэлементами.

1. Какой будет величина годовых энергосбережений?
2. Какие ещё факторы должны быть учтены?

**Примечание** Предполагается, что в ожидании текущего ремонта в нерабочем состоянии находятся, в среднем, две из вольфрамово-галогенных ламп и, благодаря более высокой надёжности, только одна натриевая лампа высокого давления.

**Решение:**

	<b><u>Исходная ситуация</u></b>	<b><u>Улучшенная ситуация</u></b>
Установленная нагрузка:	5,00 кВт	1,14 кВт
Коэф. нагрузки:	0,8	0,9
<hr/>		
Годовая эксплуатация:	5 400 час	3 650 час
<b>Год. энергопотребление:</b>	<b>21 600 кВт час</b>	<b>3 745 кВт час</b>

**Год. энергосбереж. = (21600 - 3745) кВт·час = 17 855 кВт·час**

**Другие замечания:**

- Расходы на замену ламп
- Расходы на оплату труда по техобслуживанию ламп

- *Качество освещённости*
- *Эффект от внедрённого мероприятия*

**Пример 2. Энергосберегающий блок управления двигателем.**

**Задача:** Водяной насос управляется электродвигателем мощностью **90 кВт**. Количество накачиваемой воды регулируется затвором с сервоприводом, который согласуется с давлением в системе. Измерения расхода воды показывают следующее количество воды, требуемое в различное время дня:

10 час/день: 100% максимального расхода

6 час/день : 70% максимального расхода

6 час/день : 40% максимального расхода

2 час/день : 20% максимального расхода

Предлагается в целях экономии энергии установить привод с регулируемой скоростью, который автоматически реагирует на давление в системе.

1. Какой будет величина годовых энергосбережений?
2. Какие ещё факторы нужно принять во внимание?

**Примечание:** Предполагается, что насос потребляет **90 кВт** энергии при **100%** расходе, характеристики энергопотребления даны на диаграмме раздела 5.3. (рис.10). Предполагается, что регулятор скорости имеет внутренние потери, равные **1 кВт**. Насос работает **24** часа в сутки, **350** дней в году.

**Решение:**

Табл.14 содержит расчёт средних нагрузок по данным графика

Таблица 14.

Нагрузка	Регулировка дроссельным вентилем	Регулировка с затвором с сервоприводом
100 %	90 кВт × 1,00 = 90 кВт	(90 кВт × 1,00) + 1 кВт = 91 кВт
70 %	90 кВт × 1,00 = 90 кВт	(90 кВт × 0,55) + 1 кВт = 50 кВт
40 %	90 кВт × 0,85 = 76 кВт	(90 кВт × 0,25) + 1 кВт = 24 кВт
20 %	90 кВт × 0,50 = 45 кВт	(90 кВт × 0,15) + 1 кВт = 15 кВт

Отсюда рассчитываем сбережения:

$$10 \text{ час/день} \times 350 \text{ дней/год} = 3\,500 \text{ час/год} \times (90 - 91) \text{ кВт} = -3\,500 \text{ кВт час}$$

$$6 \text{ час/день} \times 350 \text{ дней/год} = 2\,100 \text{ час/год} \times (90 - 50) \text{ кВт} = 84\,000 \text{ кВт час}$$

$$6 \text{ час/день} \times 350 \text{ дней/год} = 2\,100 \text{ час/год} \times (76 - 24) \text{ кВт} = 109\,200 \text{ кВт час}$$

$$2 \text{ час/день} \times 350 \text{ дней/год} = 700 \text{ час/год} \times (45 - 15) \text{ кВт} = 21\,000 \text{ кВт час}$$

**Всего сбережений за год**

**= 210 500 кВт час**

Другие замечания:

- Расходы на техническое обслуживание дроссельного вентиля по сравнению с расходами на ремонт затвора с сервоприводом
- Защита регулируемого привода от попадания воды и электромагнитных помех
- Нужна ли нам байпасная / дублирующая система для случая, если регулируемый привод выйдет из строя?

### **Пример 3. Повышение эффективности воздушных компрессоров.**

**Задача:** Энергетическое исследование выявляет следующие дефекты в воздушно-компрессорной станции:

- Воздухо-всасывающие фильтры загрязнены, что вызывает перепад давления на уровне 150 мм H<sub>2</sub>O (0.015 бар) вместо обычно ожидаемого перепада давления в 40 мм H<sub>2</sub>O (0.004 бар).
- Компрессоры всасывают из компрессорной станции воздух, температура которого в среднем на 15 °С теплее, чем температура наружного воздуха.

Предлагается повысить эффективность компрессорной станции путём усовершенствования графика очистки/замены воздушных фильтров и установки нового трубопровода, всасывающего наружный воздух.

1. Каким будет средний процент энергосбережений от принятия перечисленных выше мер?
2. Какие другие факторы нужно принять во внимание?

**Примечание:** Энергия, используемая для сжатия воздуха, примерно пропорциональна отношению давления (на выходе/на входе) к абсолютной температуре включения. Среднегодовые условия принимаются на уровне 1.00 бар и 15 °С, а давление на выходе - на уровне 7 бар (абс.).

#### **Решение**

$$\text{Соотношение исходного давления} = \frac{7 \text{ бар}}{1 \text{ бар} - 0,015 \text{ бар}} = 7,1065$$

$$\text{Исходная температура включения} = 15 \text{ }^{\circ}\text{C} + 15 \text{ }^{\circ}\text{C} = 30 \text{ }^{\circ}\text{C} = 303\text{K}$$

$$\text{Соотношение уменьшения давления} = \frac{7 \text{ бар}}{1 \text{ бар} - 0,004 \text{ бар}} = 7,0281$$

$$\text{Пониженная температура включения} = 15 \text{ }^{\circ}\text{C} = 288 \text{ K}$$

$$\text{Энергосбережение} = 100 \% - 100 \cdot \frac{288 \cdot 7,0281}{303 \cdot 7,1065} = 6,0\%$$

#### **Другие замечания:**

- Есть ли перепад давления в новом трубопроводе, всасывающем наружный воздух в компрессорную станцию?
- Сколько стоит ремонт фильтров в чистых условиях?

### **Пример 4. Повышение эффективности горения в котле.**

**Задача:** В результате проведения теста на эффективность горения в котле выявляется, что коэффициент средней эффективности равен 79%. Котёл имеет ручную систему продувки, которая оказывается очень неэкономной, так как количество продувки при грубом подсчёте составляет 1% от общего количества тепловой энергии, поглощённой котлом. В ходе аудита котельной определены следующие величины:

Поступающее топливо	= 62 000 ГДж	(100%)
Потери газа в газопроводе	= 13 020 ГДж	(21%)
<hr/>		
Теплота, поглощённая котлом	= 48 980 ГДж	(79%)
<b>Всего</b>	<b>= 62,000 ГДж</b>	<b>(100%)</b>
<hr/>		
Теплопотери обшивки котла	= 1 000 ГДж	
Теплопотери при продувке	= 500 ГДж	
Полезная теплота для пара	= 47 480 ГДж	
<b>Всего</b>	<b>= 48 980 ГДж</b>	

Предлагается установить в котельной систему автоматического триммирования кислорода и систему автоматической продувки. Предполагается, что первое из мероприятий повысит эффективность горения в среднем до 83 %, а второе - сократит продувку на 50 % её настоящего уровня.

1. Какой будет величина годовых энергосбережений?
2. Какие ещё факторы должны быть учтены?

**Решение:**

Сокращение уровня продувки сэкономит 50% текущего потребления, т.е.

$$50\% \times 250 \text{ ГДж} = 250 \text{ ГДж.}$$

Отсюда, общая величина требуемой теплоты:

$$\text{Всего требуемой теплоты} = 48\,980 \text{ ГДж} - 250 \text{ ГДж} = 48\,730 \text{ ГДж}$$

С повышенной средней эффективностью горения, равной 83%, количество энергии, требуемое для генерирования этой теплоты, равно:

$$\text{Требуемая энергия} = \frac{48730 \text{ ГДж}}{0,83} = 58711 \text{ ГДж}$$

$$\text{Годовые энергосбережения} = (62\,000 - 58\,711) \text{ ГДж} = 3\,289 \text{ ГДж}$$

**Другие замечания:**

- Капитальные/амортизационные расходы на системы автоматического управления
- Расходы на техническое обслуживание систем автоматического управления
- Возможная экономия от перекомплектования машин персоналом
- Снижение расходов на очистку воды

## **7.5. ПЕРЕКРЁСТНАЯ ПРОВЕРКА энергоСБЕРЕЖЕНИЙ**

Рассчитав потенциальные энергосбережения для объекта исследования, энергоаудитор должен тщательно перепроверить все вычисления перед тем, как занести расчёты в отчёт по исследованию. Перепроверка данных необходима, чтобы убедиться, что экономия согласуется с общим использованием энергии на объекте. Наиболее часто применяемые приёмы перекрёстной проверки:

- Сбережённая энергия как процент первоначального энергопотребления
- Нормализованные показатели работы

- *Анализ потоков энергии*
- *Взаимоисключаемость*
- *Уменьшенный предельный возврат*

Особенно важно убедиться в реальности сбережения энергии, чтобы избежать ситуации, когда вы провозгласите, что можете сэкономить больше энергии, чем объект потребляет в настоящее время. Также важно обозначить **ВЗАИМОИСКЛЮЧАЮЩИЕ** рекомендации по сбережению энергии, т.е. возможность внедрения только одной рекомендации из двух. Например, вам следует **ЛИБО** починить систему парораспределения, **ЛИБО** децентрализовать парораспределительное оборудование. В подобном случае консультант должен объяснить, которую из позиций он считает наиболее приемлемой. Сведя в таблицу все рекомендации по проекту, наименее приемлемые из взаимоисключающих категорий следует заключить в скобки и исключить из общего списка потенциальных сбережений.

Концепция "**Уменьшенных Предельных Возвратов**" хорошо знакома экономистам, однако та же самая концепция в ряде случаев применима к мерам по энергосбережению. Она используется, когда величина потенциального энергосбережения, полученная в результате одного действия, сокращается, если другое действие по экономии энергии произведено раньше.

**Пример 5. Пример уменьшенного предельного возврата.**

**Задача:** Для отопления помещений здание потребляет **50 000 ГДж** теплоты. Энергоаудит выявляет данное потребление слишком расточительным, так как (a) здание отапливается постоянно, хотя его загрузка периодична и (b) здание слабо изолировано.

В целях экономии энергии предложено принять следующие мероприятия:

- Установить регулятор отопления по времени, который сократит отопительную нагрузку на **40%**.
  - Изолировать здание, чтобы сократить количество требуемой теплоты на **20 %**.
- Какими будут годовые энергосбережения (ГДж и %) если будет принята только мероприятия 'А'?
  - Какими будут годовые энергосбережения (ГДж и %) если будет принята только мероприятия 'В'?
  - Какими будут годовые энергосбережения (ГДж и %) если будут приняты оба мероприятия?

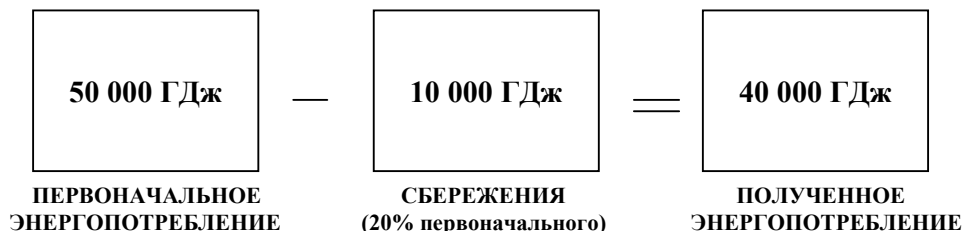
**Примечание:** Предполагается, что здание уже имеет хорошую систему регулирования температуры, которая соответствует подаче и требованию теплоты.

**Решение:**

Количество сбережённой энергии при внедрении мероприятия 'А':



Количество сбережённой энергии при внедрении мероприятия 'B':



Количество сбережённой энергии при внедрении мероприятий 'A' и 'B':



**Всего сбережений = 20 000 ГДж + 6 000 ГДж = 26 000 ГДж (52%)**

Выше приводится решение задачи, демонстрирующей эффект от “*уменьшенного предельного возврата*”, при котором сбережения, индивидуально сокращающие энергопотребление на 40% и на 20%, производят общее снижение энергопотребления лишь на 52% вместо 60%.

## 7.6. СБЕРЕЖЕНИЯ ПЕРВИЧНЫХ И ВТОРИЧНЫХ ЭНЕРГОресурсов

Одна из самых важных (но часто пренебрегаемых) особенностей отчёта по энергоаудиту – это различие между экономией первичной энергии и вторичной. Эти особенности заключаются в следующем:

*Сбережение первичного топлива путём экономии вторичной энергии:* Экономия вторичной энергии оказывает влияние на потребление первичной энергии. Самый простой путь вычислить экономию первичной энергии – разделить размер экономии вторичной энергии на коэффициент преобразования (электростанции или котла). Иногда экономия вторичной энергии оказывает отрицательное либо положительное влияние на загрузку завода (а именно в том случае, когда котлам дают нагрузку более или менее близкую к оптимальной). Иногда экономия вторичной энергии влияет на распределение потерь (снижение уровня потребления пара также может сократить мгновенные потери пара в резервуарах сбора конденсата).

*Эффект от замены топлива:* Замена одного источника топлива другим обычно проводится в случаях, когда имеется возможность приобрести иное топливо по более низкой стоимости на единицу содержания энергии. Финансовый расчёт сбережений должен также учитывать возможность изменения расходов на ремонт оборудования. Кроме того, замена топлива может изменить коэффициенты преобразования.



*Обтекание решётки и регенерирование теплоты:* Если потоки энергии извлекаются из регенерирующих систем или выводятся, как побочный продукт систем преобразования энергии (теплота низкой температуры выделяется из системы когенерации), экономия в этих энергопотоках не обязательно является результатом сохранения первичной энергии. Например, если горячее водоснабжение производится системой когенерации, которая в другом случае выбросила бы эту теплоту в атмосферу, тогда экономия горячей воды не сохраняет первичное топливо, на котором работает система когенерации. Наоборот, если теплота низкой температуры из установки когенерации обеспечивает только часть необходимого запаса теплоты, а другая часть пополняется электрическим отоплением, тогда экономия горячей воды отразится на сбережении электроэнергии.

## **7.7. ПРЕДЕЛЬНАЯ СТОИМОСТЬ ТОПЛИВА**

Для отчёта по энергоаудиту, конечно же, естественно преподнести экономию энергии как экономию денег. Однако, средняя стоимость топлива – не всегда самый подходящий критерий преобразования. Необходимо учитывать следующие факторы при преобразовании энергосбережений в финансовые сбережения:

*Структура стоимости топлива:* Необходимо рассчитывать финансовые сбережения, исходя из тех элементов ценовой структуры топлива (дневная и ночная стоимость единицы топлива, стоимость при максимальном спросе и т.д.), на которые оказывают влияние предложенные энергосбережения.

*Неэнергетические сбережения затрат:* Меры по сохранению энергии часто влияют на изменение неэнергетических расходов, таких, как например, затраты по ремонту производственного оборудования. Это влияние может быть и позитивным, и негативным, поэтому необходимо принимать во внимание стоимость этих изменений.

*Снижение/повышение цен:* Естественно при установлении цен на энергию руководствоваться ранее сложившимися в аудите тарифами, либо известными текущими ценовыми данными. Однако, иногда можно исходить из рассчитанных или известных будущих цен на топливо.

*Снижение выбросов в окружающую среду:* Уменьшение потребления энергии приводит к снижению ее производства, что в свою очередь приводит к уменьшению выбросов вредных веществ. При нормализованной экономической ситуации в стране это должно поощряться бонусной системой.

### **Пример 6. Замена топлива.**

*Паровой котёл работает на нефтяном газе и потребляет 1150000 л нефтяного газа для выработки технологического пара. Общй кпд составляет 82%.*

*В целях денежной экономии предлагается перевести котёл на использование натурального газа. Так как натуральный газ имеет более низкий уровень теплопередачи пламени, чем нефтяной, общй КПД снизится с 82 % до 80 % (высшая теплотворная способность), однако предполагается, что низкая стоимость газа более чем компенсирует этот технический недостаток.*

#### ***Вопрос:***

1. Какова величина энергосбережений и величина экономии расходов при замене топлива?
2. Какие другие факторы нужно принять во внимание?

**Примечание:** Высшая теплотворная способность (ВТС) и стоимость топлива соответственно составляют:

**Нефтяной газ:** ВТС = 38.0 МДж/л 0.22 Евро/л  
**Природный газ:** ВТС = 40.5 МДж/м<sup>3</sup> 0.013 Евро/кВт·час

**Существующая ситуация**

Теплота сгорания нефтяного газа:  $1\,150\,000 \text{ л} \times 38 \text{ МДж/л} = 43\,700 \text{ ГДж}$   
 Годовые расходы на нефтяной газ:  $1\,150\,000 \text{ л} \times 0.22 \text{ Евро/л} = 253\,000 \text{ Евро}$   
 Годовое производство теплоты:  $43\,700 \text{ ГДж} \times 0.82 = 35\,834 \text{ ГДж}$

**Предлагаемая ситуация**

Годовое количество требуемой теплоты = 35 834 ГДж  
 Годовое потребление натурального газа =  $\frac{35\,834 \text{ ГДж}}{0.80}$

Годовые расходы на природный газ  
 = 44 792 ГДж = 12 442 361 кВт·час  
 = 12 442 361 кВт час × 0.013 Евро/кВт·час  
 = 161 750 Евро

**Результат**

Сбережение первичного топлива = 43 700 ГДж - 44 792 ГДж = (1 092 ГДж)  
 Сбережение расходов на топливо = 253 000 Евро - 161 750 Евро = 91 250 Евро

**Другие замечания:**

- *Изменение расходов на техническое обслуживание*
- *Изменение ожидаемого срока службы котла*
- *Будущие изменения стоимости топлива*
- *Сохранится ли производственная мощность горения топлива или нет?*
- *Может ли резервуар для хранения топлива использоваться в других целях?*

## **7.8. ЖИЗНЕСПОСОБНОСТЬ ПРОЕКТА**

Одно из наиболее часто встречаемых возражений персонала рекомендациям энергоаудитора – это то, что рекомендации в предложенном проекте не учли другие жизненно важные, но не касающиеся энергосбережения, вопросы.

**Примеры замечаний по жизнеспособности проекта:**

- *Эффективность энергосбережений*
- *Анализ ценовой чувствительности*
- *Рабочие соглашения*
- *Влияние на производственный процесс*
- *Доступность топлива*
- *Требования по технике безопасности*
- *Законодательство об охране окружающей среды*
- *Требования пространства*
- *Эстетические требования*
- *Доступность оборудования (и комплектующих)*
- *Необходимость в дополнительном обучении персонала*
- *Нормативы предприятия*

## 7.9. ОЦЕНКА РАСХОДОВ

Вычисление капитальной стоимости проекта по энергосбережению – это ключевой момент отчёта. Неверно оцененные затраты могут легко подорвать доверие к целому отчёту. Обычно причина недооценки затрат вызвана НЕ недооцениванием расходов, а УПУЩЕНИЕМ ОБЩЕЙ СТОИМОСТИ КОМПОНЕНТОВ. Ниже отражены типичные примеры компонентов, которые можно включить в расчёт общей стоимости проекта. Данный список НЕ является исчерпывающим.

- *Стоимость закупки энергосберегающего оборудования*
- *Закупочная стоимость вспомогательного оборудования (а именно, регуляторов, инструментов, охранного оборудования, обходных устройств)*
- *Расходы на доставку (таможенные формальности и установка оборудования)*
- *Страхование*
- *Расходы на изоляцию*
- *Тестирование и ввод установки в промышленную эксплуатацию*
- *Выплаты за консультации*
- *Расходы на гражданское строительство*
- *Расходы на перемещение производственного оборудования*
- *Деятельность, требуемая по технике безопасности*
- *Перестройка каркаса здания, вызванная установкой нового оборудования*
- *Проверка лицензирования/сертификации/страхования*
- *Обучение персонала*
- *Стоимость утерянной продукции.*

### Типичные ИСТОЧНИКИ оценки расходов:

- *Прайс листы на оборудование*
- *Публикации по оценке расходов*
  - *Стоимость оборудования*
  - *Расходы на оплату труда*
  - *Общие средние расходы (а именно, на м<sup>2</sup>, на кВт установленной мощности)*
- *Бюджетные расходы поставщиков/монтажников*
- *Расценки поставщиков/монтажников*
- *Информация о стоимости предыдущих внедрённых проектов*

Способы определения стоимости могут быть взяты из различных источников. Самым надёжным из них является личный опыт проведения аналогичного проекта в прошлом, но даже таким образом следует осторожно относиться к факторам, которые могут вызвать значительную ценовую разницу в двух аналогичных проектах. Например, установка электронного контрольного оборудования на нефтехимическом заводе может стоить намного дороже, чем аналогичная установка на пивоваренном заводе, по причине необходимости использовать оборудование, которое сертифицировано для использования во взрывоопасной среде.

Также полезно использовать котировки и бюджетные расценки поставщиков, а также цены, взятые из ценовых брошюр. Важно убедиться, что эти источники учитывают все стоимостные компоненты, а именно, доставку, установку, наладку оборудования.