

Министерство образования и науки
Российской Федерации
ГОУ ВПО «Российский Химико-технологический
университет им. Д.И. Менделеева»
Новомосковский институт (филиал)

Лобанов Н.Ф.

Энерго - и ресурсосберегающая техника и технология

Учебно-методическое пособие

Новомосковск .2015г.

Введение

Энерго- и ресурсосберегающая техника (ЭиРСТ)

Энерго- и ресурсосберегающая техника – отрасль прикладной науки, занимающаяся изучением методики энергетического обследования (энергоаудита) промышленных объектов и разработкой технических приёмов, минимизирующих нерациональные потери энергии и материалов. Предметом изучения является методология использования стандартизированного и специального оборудования для повышения эффективности использования энергоматериальных ресурсов в промышленных предприятиях и объектах жилищно-коммунального хозяйства.

В изучаемом курсе основное внимание уделяется решению задач энергосбережения от постановки вопроса до разработки энергосберегающего проекта, энергоаудиту и энергоменеджменту типовых технических систем.

Студент, после изучения дисциплины «Энерго- и ресурсосберегающая техника» должен обладать знаниями и навыками, необходимыми для количественной оценки фактического потребления энергоресурсов на момент обследования и составления энергосберегающих проектов, применительно к обследованному промышленному объекту, а также составлять отчёты по энергоаудиту.

Базовые дисциплины для курса «Энерго- и ресурсосберегающая техника»:
Физика – разделы строения атома, законы излучения, виды температур, строение твёрдых, жидких и газообразных тел, механизмы теплопередачи.
Техническая термодинамика и теплотехника – законы термодинамики, стационарные и переходные процессы, критерии тепло- и массообмена, основные уравнения состояния.

Процессы и аппараты химической технологии – принципы функционирования основных типов химического оборудования, законы теплопередачи.

Электротехника и электроника – принципы устройства и регулирования мощности двигателей переменного тока, потери в «меди» и в «стали», активная и реактивная мощности.

Экономика и управление производством – капитальные и текущие затраты, себестоимость, экономический эффект, срок окупаемости.

1. Основы энергоаудита.

1.1. Законодательные основы энергосбережения.

Важность проблематики энергосбережения в промышленности и жилищно-коммунальном хозяйстве нашей страны нашла отражение в двух специальных законах.

Во-первых, это закон "Об энергосбережении" принятый в 1996 году, декларирующий необходимость энергетических обследований и механизм компенсации затрат на осуществление мероприятия по энергосбережению. Во-вторых, это закон "Об энергоэффективности" принятый в 2009 году, определяющий порядок снижения энергопотребления по регионам РФ с темпом 3-5% в год.

По закону "Об энергосбережении" (1996 г) обязательному внешнему энергоаудиту подлежат:

- а) все бюджетные организации (школы, больницы, ВУЗы, военные базы и т.д.)
- б) коммерческие предприятия с годовым расходом энергоресурсов более 6,5 тыс. тонн условного топлива (ТУТ)

Энергоаудит осуществляется сертифицированными организациями, имеющую лицензию от Энергонадзора России на право проведения этих работ. Средства на проведение обязательного энергоаудита заложены в тарифы на электроэнергию. По Тульской области это около десятка млн. рублей в год.

На основе внешнего энергоаудита составляется отчет с планом мероприятий по энергосбережению (минимальный вариант) или оформляется энергетический паспорт предприятия, куда включаются расходные коэффициенты по всем видам ресурсов, перечень проектов по энергосбережению, данные по срокам окупаемости и объемам годовой экономии по каждому из проектов.

На основе данных энергоаудита затраты на проведение энергосберегательных мероприятий могут компенсироваться частично или полностью двумя путями:

- а) через снижение тарифов на энергоресурсы;
- б) через снижение налоговой нагрузки.

Инженерное обследование энергопотребления силами персонала предприятия не может служить основанием для снижения тарифов и налогов. Эффект от выполненных мероприятий по сокращению затрат энергоресурсов будет заключаться в уменьшении объема платежей поставщикам энергоресурсов.

1.2. Особенности тарифов на энергоресурсы.

При наличии приборов учёта потребления энергоматериальных ресурсов их оплата производится по двум основным вариантам:

- а) за потребленное количество ресурса по определенному тарифу
- б) по комбинированной схеме, включающей "переменную" и "постоянную" составляющие.

Переменная составляющая оплаты определяется показаниями счётчика энергоресурса, а постоянная - не зависит от уровня потребления и берется энергопоставщиком за поддержание работоспособности системы поставки ресурса. Аналогом такой системы является абонентская плата за телефон.

В настоящее время потребление материальных ресурсов (газ, холодная вода, тепло и т.д.) оплачиваются по счетчикам, пропорционально объему потребления. Практически так же оплачивается бытовая электроэнергия. Оплата за промышленную электроэнергию значительно сложнее. при заключении договора на поставку электроэнергии могут применяться:

- а) одноставочные и двухставочные тарифы (при заявленной мощности более 750 кВА)
- б) постоянные и дифференцированные (в зависимости от времени суток) тарифы.

В договорах на электроснабжение также закладываются штрафные санкции (при любом отклонении от заданных параметров) в пользу энергопоставщиков, что требует юридическое противодействие со стороны потребителей. Двухставочный тариф относится к разряду комбинированных и он обязателен для сравнительно крупных предприятий.

Типичное распределение потребляемой мощности по времени суток представлено на рис. 1 (кривая 1). Многократное отличие "дневной" и "ночной" мощностей усложняет проблему регулирования генерируемой мощности электростанций при недогрузке и ведет к перерасходу материальных ресурсов. Идеальный вариант - когда потребляемая мощность постоянна или плавно меняется. (кривая 2)

Для стимулирования рационального энергопотребления рационально отказаться от постоянной оплаты за электроэнергию на двухсторонний тариф:

- с 7 до 23 часов – обычный дневной тариф.
- в провальные ночные часы установить пониженный тариф – 25% от дневного.

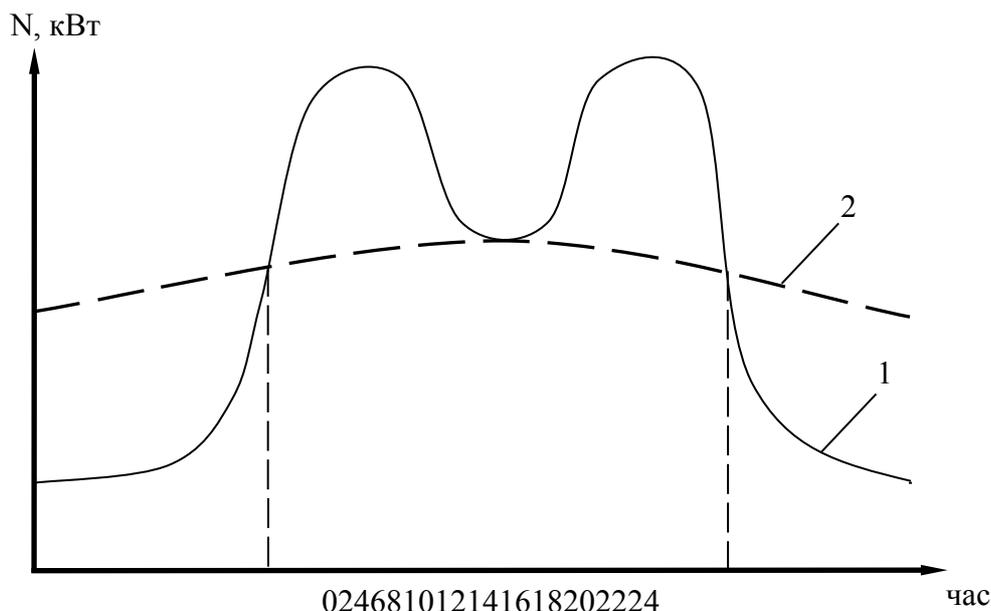


Рис. 1 Распределение потребляемой мощности по времени суток.

Из-за сложностей, проблем регулирования в области низких мощностей цепочки “теплоагрегат – турбина – генератор” и технической невозможности остановки на ночь атомных, гидроэлектростанций и крупных тепловых блоков (больше 100 тыс. кВт). Выравнивание уровня потребления электроэнергии в течение суток целесообразно осуществить через тарифную политику, стимулируя ночное включение электропотребляющих безынерционных производств (электропечи, холодильные установки и т.п.).

1.3. Энергоаудит промышленных предприятий.

Цели и задачи энергоаудита:

1. Выявить фактическую картину внешнего потребления и распределения энергоресурсов внутри предприятия.
2. Разработка энергосберегающих проектов (мероприятий).

Поводом для проведения энергоаудита на коммерческих предприятиях, не подлежащих обязательному энергоаудиту, по закону является:

- отклонение (в худшую сторону) контрольных цифр удельного энергопотребления на единицу продукции.
- необъяснимый для менеджеров предприятия явный перерасход, какого-либо энергоресурса по сравнению с аналогичными производствами.

Для выполнения энергоаудита создается группа высококвалифицированных инженеров, желательно, с опытом работы на аналогичных предприятиях. В группу целесообразно включить инженера – электрика, инженера со знанием технологии тепловых процессов, инженера со знанием контрольно – измерительных приборов (КИП и А) и систем измерения.

1.4. Методика проведения энергоаудита.

С позиции руководства к действию энергоаудит целесообразно разделить на 5 этапов:

1. Определение внешнего энергопотребления;
2. Расчет энергозатрат по производствам, установкам, корпусам и по видам продукции (распределение энергоресурсов внутри предприятия);
3. Критический анализ энергозатрат. Выявление объектов целесообразно для составления энергосберегающих проектов;
4. Разработка проектов энергосбережения;
5. Экспертиза проектов (отбор первоочередных мероприятий по степени их эффективности: годовая экономия и срок окупаемости).

Результаты энергоаудита представляются на рассмотрение технического совета предприятия или управляющих менеджеров. Основные положения и результаты энергоаудита служат основой для составления энергетического паспорта предприятия.

При презентации результатов энергоаудита важнейшая роль отводится «введению», где отражается технико-экономическое состояние предприятия на момент аудита, и «заключению», где сжато излагаются основные выводы по энергосбережению.

1.5. Содержание первого этапа энергоаудита

Цель этапа:

1. Ознакомление со структурой предприятия.
2. Составление укрупненной схемы производства с указанием вводимых видов энергоресурсов.
3. Сбор исходных данных по коммерческому учету потребления энергоматериальных ресурсов за срок не менее одного года (к моменту проведения энергоаудита).

При систематизации месячных объёмов ресурсопотребления целесообразно указывать индекс производства на предприятии за тот же месяц.

При выполнении первого этапа используются следующие источники информации:

- данные коммерческого учета энергоресурсов на входе и на выходе с предприятия и счета от поставщиков;
- сведения о тарифах на энергоресурсы (по датам изменения тарифов) и договора на поставку ресурсов.

Потребляемые ресурсы с помесечным разбиением в натуральных и универсальных показателях расходов сводятся в общую таблицу по видам энергоносителей за год (Табл. 1).

Таблица 1.

Вид энергоресурса	Единица измерения	Объем в натур. ед.	Объем в экв. ед.ЭН	Энергет. %	Финанс %
Электроэнергия	кВт*ч	12000		35,7	63,7
Природный газ	1000 нм ³	960		7,1	2,7
Мазут	т	18		35,9	15,4
Пар	Гкал	96		17	
Теплоф. вода	Гкал	38		4,3	
Всего				100	100

Вывод 1 : в энергетическом эквиваленте основная доля энергопотребления приходится на электроэнергию 35,7 % и мазут 35,9 %. Все остальные энергетические ресурсы занимают не более 30 % общего энергопотребления. Таким образом, при обследовании цехов и производств основное внимание надо уделять узлам, использующим электроэнергию и мазут.

Вывод 2: из анализа финансовой части таблицы ясно, что в первую очередь (для снижения денежных затрат предприятия) необходимо обследовать узлы потребления электроэнергии 63,7 % против 15,4 % для мазута.

При существующем уровне цен на природный газ и мазут во вторую очередь целесообразно рассмотреть возможность перевода мазутных потребителей на природный газ¹.

Данные первого этапа энергоаудита наглядно представляются в виде долевых диаграмм, отражающих относительное энергопотребление ресурсов в эквивалентных единицах и деньгах. Эти диаграммы могут быть построены для годового энергопотребления и для характерных месячных интервалов:

- а) в отопительный сезон и в летнее время.
- б) при максимальной и минимальной загрузке мощностей предприятия.

Отдельный раздел первого этапа посвящается рассмотрению тарифов на энергоресурсы, где анализируются:

- а) изменение тарифов в течение года;
- б) наличие дифференцированных тарифных ставок например ночной тариф на электроснабжение;
- в) структура тарифа, т. е. соотношение, текущих и инвестиционных составляющих;
- д) наличие штрафных санкций за несоблюдение условий энергопотребления.

¹ В последние годы стоимость природного газа растет опережающими темпами и указанная закономерность (табл.1) может быть несправедлива.

При этом делаются выводы о целесообразности дальнейшей закупки тех или иных энергоресурсов или по переходу к другой структуре оплаты энергопотребления, если это целесообразно.

1.6. Особенности тарифов на электроэнергию.

Существует две группы тарифов:

1. Для предприятий с заявленной мощностью менее 750 кВА потребитель платит:
 - а) за потребляемое количество электроэнергии по обычному тарифу;
 - б) за превышение заявленного электропотребления по повышенному тарифу;
 - в) за уменьшенное потребление электроэнергии – тоже по повышенному тарифу (не всегда).
2. При заявленной мощности более 750 кВА. В этом случае кроме оплаты за потребляемую электроэнергию, предприятие дополнительно платит:
 - а) за заявленный максимум нагрузки;
 - б) штрафные санкции за превышение заявленного максимума нагрузки;
 - в) за реактивную мощность ($\cos \varphi$).

Кроме того, может быть согласована оплата по постоянному (независимо от времени суток) и дифференцированному тарифам. Дифференцированный тариф может быть двухставочным (цена меняется днем и ночью) и трехставочным, при котором изменение цены происходит трижды за сутки:

- Минимальный тариф - ночное время
- Нормальный тариф - днем, ранним утром и поздним вечером
- Максимальный тариф - в периоды, наибольшего потребления электроэнергии (2-4 часа в сутки, когда бытовые и промышленные потребители складываются).

Для сокращения финансовых расходов на электроэнергию, целесообразно:

- а) перейти, если это возможно, на оплату только потребляемой мощности, например путем юридического "дробления" предприятия,
- б) перейти на дифференциальный тариф, если электропотребляющие процессы периодические и малоинерционные, когда основное энергопотребление может осуществляться ночью.
- в) грамотно заключать договор о электроснабжении с исключением или минимизацией штрафных санкций.

1.7. Содержание второго этапа энергоаудита

Целью этапа является оценка распределения потоков энергии внутри предприятия (по корпусам, по производствам, по установкам). Этот этап является наиболее трудоемким. На него приходится до 70% затрат на энергоаудит.

Внутри предприятия следует выделить наиболее значимые потребители по каждому виду энергоресурса. При этом энергопотоки необходимо наложить на аппаратно-технологическую схему процесса. По каждому аппарату, потребляющему существенное количество энергии, материальных ресурсов и выделяющих стоки и отходы необходимо составить энергоматериальный баланс.

Основными потребителями электроэнергии на предприятии являются: электрические печи, компрессорное оборудование, системы вентиляции и кондиционирования, насосное хозяйство, холодильные установки, оборудование для перемешивания технических сред, станочный парк, подъемно – транспортное оборудование, дезинтеграторы, системы освещения.

Основные потребители тепловой энергии: котлы паровые и водогрейные, технологическое оборудование для проведения эндотермических процессов, система отопления, хранилища продукции, здания и сооружения, трубопроводы для распределения горячей воды и пара.

В качестве источников информации при выполнении второго этапа энергоаудита можно использовать технологические проекты, регламенты, инструкции, паспорта на оборудование, рабочие журналы пунктов управления процессом, данные опроса обслуживающего персонала и собственные измерения.

Проведение дополнительных и специальных измерений.

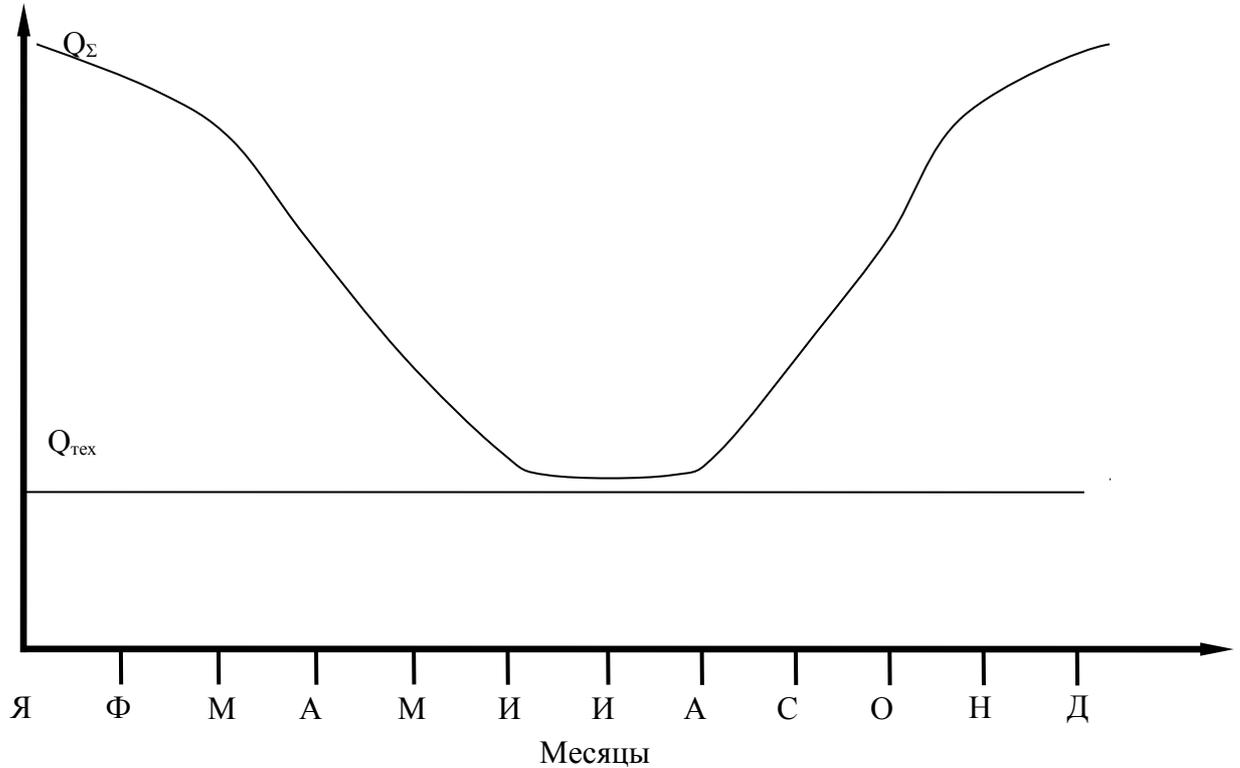
На основе технологических документов, из всех возможных потребителей электроэнергии и тепловой энергии для детального обследования выбираются наиболее крупные.

При обследовании крупных энергопотребителей необходимо описать график их работы, в течение смены, суток, месяца и года, при этом отметить ограничения накладываемые процессом на параметры непрерывности или периодичности работы.

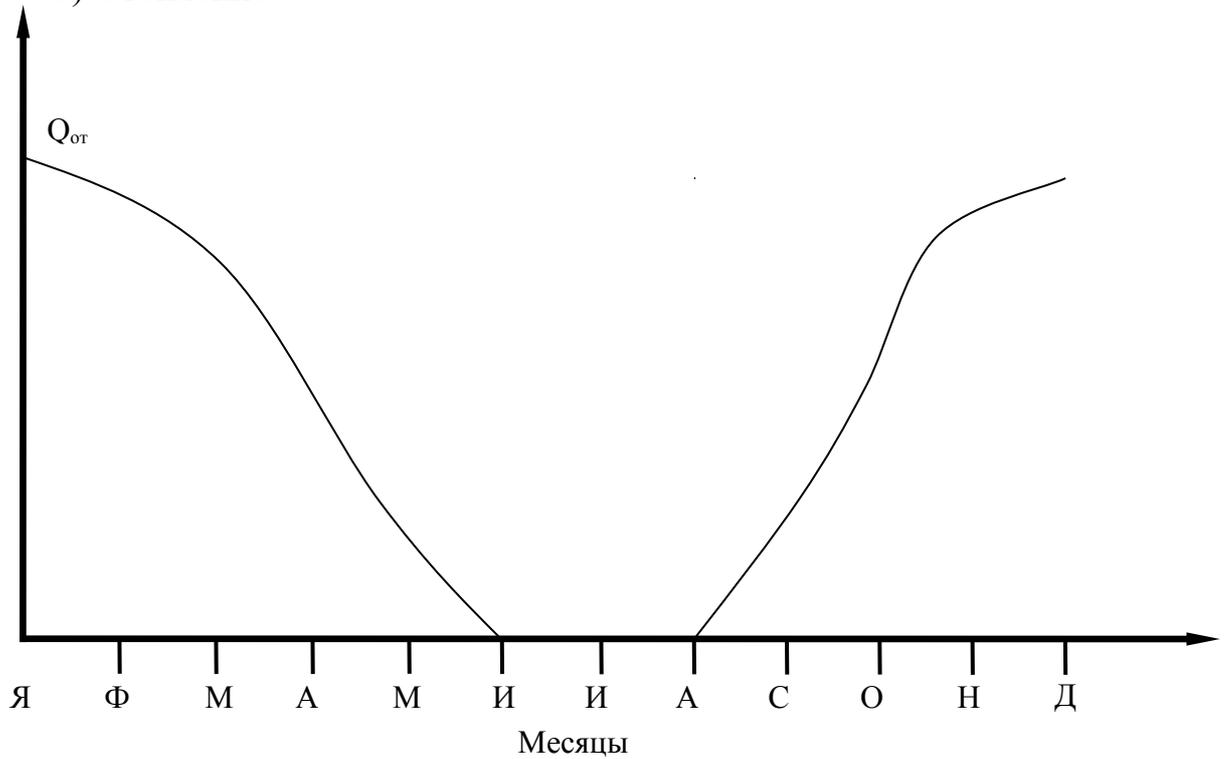
Как правило, рабочие журналы не содержат полного набора сведений для составления материально – теплового баланса по установкам и процессам. Это связано с отсутствием необходимости во внутреннем хозрасчете (между цехами и участками), характерными для времени проектирования предприятия. При этом энергоаудит теплопотребляющих объектов требует разделения технологических и обслуживающих затрат энергии. Например: предприятие потребляет на отопление и технологию в зимнее время известное количество тепла (Гкал в месяц). Для выявления затрат на технологию (Q_T), необходимо использовать метод сравнительных балансов за период в течение года. Сравнив отопительный и неотопительный

периоды мы можем достаточно точно оценить затраты тепловой энергии на технологию по летним месяцам. ($Q_T = Q_\Sigma - Q_{\text{отоп}}$)

а) Отопление и технология



б) Отопление



Точность сравнительных балансов при оценке технологического энергопотребления зависит от стабильности выпуска продукции в рассматриваемом периоде.

При переменном индексе выпуска продукции из данного графика, можно оценить удельный расход тепла на единицу продукции.

Аналогичным образом т.е по разности балансов, в технологический период и при остановке производства на капитальный ремонт, можно по общему прибору (расходомеру) в помещении компрессии оценить отдельно:

- a) технологическое потребление сжатого воздуха.
- b) объём утечек из системы (при отсутствии работающего пневмоинструмента).

1.8. Критическая оценка адекватности и точности системы измерения

При энергетическом обследовании для составления энергоматериальных балансов нам необходимо знать:

1. Массовый расход сред, G;
2. Температуры (на входе и выходе), °с, T;
3. Площади (сечения в трубах и поверхности теплообмена), S;
4. Электрическую мощность, N.

Оперируя этими параметрами и привлекая справочный материал (теплоёмкости, плотности и теплопроводности сред) мы можем проанализировать любые тепловые балансы используя следующие зависимости:

Для тепловых потоков без учёта стока энергии на фазовые и химические превращения (при постоянной теплоемкости) имеем:

$$Q = G \cdot C_p \cdot (t_2 - t_1) \quad (1)$$

где: C_p - постоянная теплоемкость.

t_1 , t_2 – температуры на входе и выходе из объекта.

Для тепловых потоков с химическими и фазовыми превращениями:

$$Q = G \cdot (h_2 - h_1) \quad (2)$$

где h_1 , h_2 - энтальпии сред на входе и выходе соответственно

Для электрической мощности:

$$N = I \cdot U \quad (3)$$

где: I - эффективное значение силы тока,
U - расчетное напряжение

При снятии показаний надо ориентироваться не только на класс точности прибора, но и на степень полноты использования шкалы (не менее 2/3 шкалы) это связано с тем, что класс точности прибора соответствует в процентах его погрешности при снятии показаний на 100 % шкалы. При замере величины на 10 % шкалы, погрешность измерений возрастает в 10 раз.

Кроме того, при перемножении или делении измеряемых величин, общая погрешность результата увеличивается. Например при расчете электрической мощности постоянного тока по формуле (3)

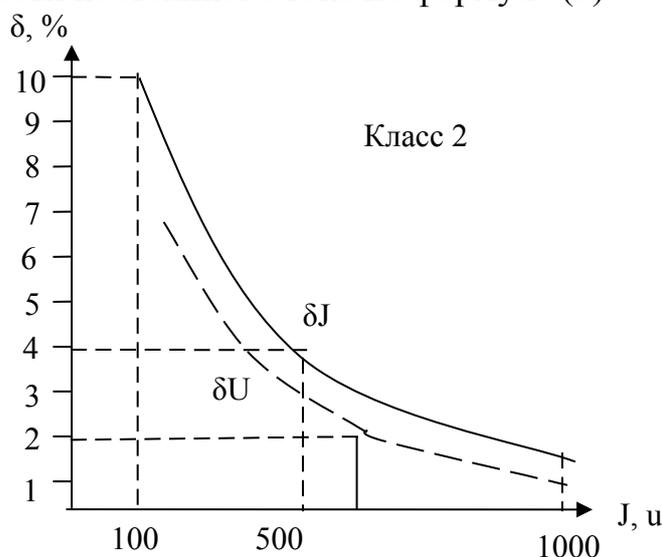


Рис.2 Точность измерения тока (I) и напряжения (U) приборами (кл. точности 2) при шкале 1000 ед.

При нахождении произведения двух измеряемых величин, общая погрешность находится по формуле:

$$\delta N = \sqrt{(\delta J)^2 + (\delta U)^2} \quad (4)$$

Для тока 500А и напряжения 600В общая мощность $N=30$ кВт. При этом погрешность измеряемого тока 3 %, а погрешность измеряемого напряжения 2 %, то погрешность нахождения мощности 4,5%.

Аналогичную формулу можно записать и для погрешности расчета теплового потока (из уравнения 1):

$$\delta Q = \sqrt{(\delta G)^2 + (\delta C_p)^2 + (\Delta t)^2} \quad (5)$$

Причем, индивидуальные погрешности под знаком корня включают в себя комплексные погрешности датчика, система преобразования сигнала и вторичного прибора.

Для минимизации погрешностей вносимыми датчиками и условиями установки необходимо соблюдать требования нормативов КИП и А по относительным габаритам датчиков, по месту установки (на прямых участках длиной не менее 10 – 15 калибров) и с учетом чистоты поверхности (накипь, коррозия).

При измерении тепловых потоков основную погрешность вносят операции определения расхода жидкости и газа. Из многообразия методов определения расхода:

- a) Объемный метод;
- b) Использование ротаметров;
- c) Использование измерительных сопел или диафрагм;
- d) Применение механических счетчиков турбинного типа;
- e) Применение ультразвуковых счетчиков расходомеров.

В промышленности наибольшее распространение имеет диафрагменный метод.

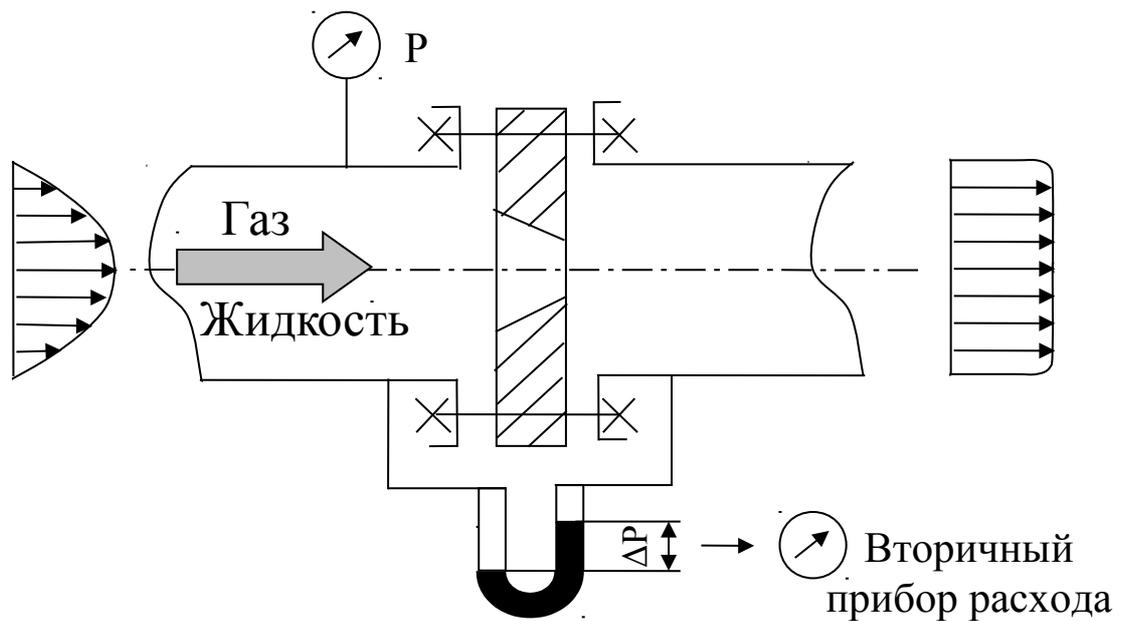


Рис. 3 Схема измерения расхода через диафрагму

Расход, измеряемый при помощи сужающих устройств (диафрагма, сопло), рассчитанных на номинальные режимы, обязательно должен корректироваться на реальное изменение плотности, особенно для газообразных сред. В результате точность определения тепловых потоков существенно уступает точности измерения электрических параметров и давлений. **В производственных условиях несходимость тепловых балансов до 10 % может считаться допустимой.**

Для точного картирования энергопотребления на втором этапе энергоаудита кроме стандартных стационарных приборов используются специальные средства в виде переносных измерительных комплексов:

- a) дистанционные инфракрасные термометры;
- b) накладные ультразвуковые расходомеры;
- c) теплосчётчики на основе комбинации расходомера с термодатчиком;
- d) электрические измерительные клещи;
- e) анализаторы электрической мощности, работающие в комплекте с электрическими измерительными клещами.

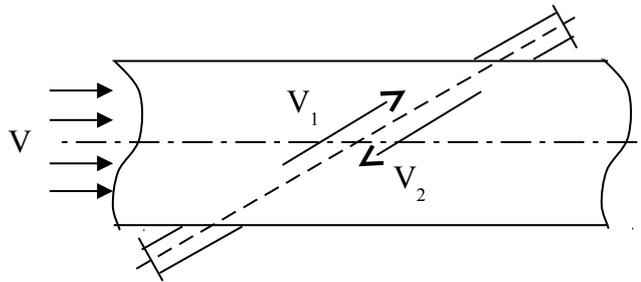


Рис. 4 Принцип действия ультразвукового расходомера

Принцип действия основан на нахождении скорости ультразвука в направлении движения среды V_1 , и в направлении против движения среды V_2 . Результаты определения искомой переносной скорости рабочего потока V в пересчете на расход, обрабатываются с учетом толщины и материала стенки, состава и плотности перекачиваемой среды.

В результате выполнения второго этапа энергетического обследования составляются карты энергопотребления и потерь энергоресурсов по наиболее значимым потребителям ресурсов.

1.9. Третий этап энергоаудита: критический анализ результатов обследования

Целью третьего этапа является определение причин существующего “статус-кво” по энергопотреблению и определению перспективных направлений энергосбережения.

Известно что, любую систему энергопотребления можно разделить на три блока:

- 1 - блок преобразования энергии;
- 2 - система распределения энергии;
- 3 - узлы потребления энергии.

Представим исходную схему, отражающую производство, распределение и потребление тепловой энергии (например, от котла до теплообменника) в следующем виде:



При расчетном КПД блоков преобразования и распределения на уровне 60%, а начальном объеме потребления 60ГДж. Будем поочередно улучшать работу всех блоков на одну треть. Для оценки эффективности индивидуального совершенствования блоков будем сравнивать "замыкающие" затраты энергии топлива на входе в блок преобразования. В исходном варианте $Q_{затр} = 167$ ГДж.

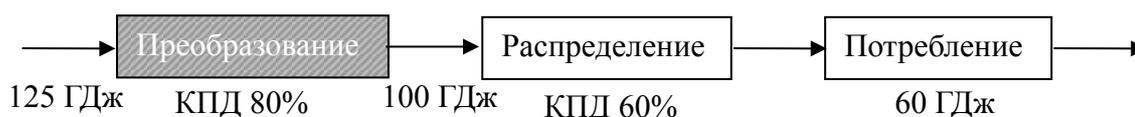
При снижении уровня потребления на 1/3 (до 40 ГДж) и при сохранении КПД распределения и КПД преобразования на прежнем уровне мы должны будем иметь на входе в систему распределения 67 ГДж, а замыкающими затратами энергии составляют 111 ГДж.



Теперь рассмотрим результаты энергосбережения при улучшении КПД системы распределения на 1/3 (80%).



Аналогичный результат получаем при увеличении КПД преобразования на 1/3 (80%)



Идеальный результат в данной схеме будет получен при улучшении энергетических параметров каждого из трех звеньев цепочки. В этом случае замыкающие затраты будут 62 - 63 ГДж.

В первую очередь, при анализе любой энергетической схемы необходимо минимизировать применяемые параметры процесса до регламентных (по температуре, давлению, соотношению компонентов), а расходы рабочих сред привести в соответствие с рабочей производительностью агрегата или производства. После минимизации параметров потребления целесообразно устранить избыточные потери энергии и материалов в системе распределения и только, в последнюю очередь, поднимать эффективность блока преобразования энергии через улучшение КПД последнего.

Из сравнения трех вариантов усовершенствования процесса однозначно следуют важнейшие выводы:

1. Снижение замыкающего энергопотребления надо начинать с оптимизации (минимизации) параметров потребления (время работы, температуры, расхода, теплотеря и т.п.)
2. На второй стадии необходимо минимизировать (ликвидировать) утечки среды и энергии в системе распределения.

3. В завершении усовершенствования трехзвенной схемы, целесообразно максимально повысить КПД блока преобразования энергии.

При таком порядке действий требования к мощности блока преобразования энергии резко понижаются, что снижает капитальные затраты на его обновление. Для любого вида ресурсопотребления на предприятии стадии "потребления" и "распределения" присутствуют обязательно, а стадия преобразования энергии, как правило.

При анализе параметров потребления кроме расхода, давления, температуры необходимо учитывать и временной режим работы технологических устройств. При этом, анализируя энерготехнологический объект, мы должны задаться следующей группой вопросов:

- 1 - почему необходимы именно такие параметры процесса;
- 2 - почему используется именно данный вид энергии;
- 3 - возможна ли замена используемого вида энергии на другой;
- 4 - существенно ли сохранение существующего графика работы оборудования (односменная работа, круглосуточная, периодический процесс и т.д.).

Рассмотрим пример: центробежный насос с выходным давлением 4 атм подаёт охлажденную воду в старый рекуперативный теплообменник, перед которым давление воды снижается до 2 атм. Рассмотрим возможность замены данного насоса на более современный с учетом возможности изменения рабочего давления на выходе из насоса.

$$N_{пол} = K \cdot (\Delta P)^2 \quad (6)$$

При квадратичной связи перепада давления и мощности снижение параметра потребления на выходе из насоса с 4 до 2 атмосфер мощность насоса может быть (при сопоставимых КПД) снижена в 4 раза.

При критическом анализе данных аудита кроме соблюдения обязательного порядка усовершенствования различных стадий процесса целесообразно провести следующие операции:

1. Рассмотреть и проанализировать причины изменения энергопотребления при "резких" (аварийных) изменениях параметров процесса, т.е. остановке цехов, отключении технологических установок и т.п. Последствия этих явлений необходимо проанализировать по методике пассивного эксперимента.
2. Установить значимость факторов, вызывающих те или иные последствия в изменении параметров энергопотребления, и количественно оценить влияние этих факторов.

В результате критического анализа ситуации с энергопотреблением на предприятии выявляются наиболее узкие места и наиболее значимые

объекты для разработки энергосберегающих проектов, которые должны разрабатываться в следующем порядке:

- a) проекты энергосбережения у технологических потребителей;
- b) проекты энергосбережения в распределительных сетях;
- c) проекты энергосбережения на стадии преобразования энергии (подстанции, котельные, тепловые пункты, компрессорные, насосные и холодильные отделения).

С позиции энергетического подхода в первую очередь необходима проработка проектов для экономии:

- a) электроэнергии;
- b) «свежих» видов топлив;
- c) высокопотенциального тепла;
- d) низкопотенциального тепла.

1.10 Четвертый этап энергоаудита: составление энергосберегающих проектов

Выполнение четвертого этапа энергоаудита базируется на критически осмысленной информации по балансам расхода и потребления энергоресурсов.

Для разработки энергетических проектов на первом этапе генерируется список возможных для реализации идей по энергоресурсосбережению. Это могут быть такие типовые приемы как:

- 1) сокращение времени работы энергопотребляющих установок до необходимого уровня;
- 2) минимизация рабочих параметров процесса (температура, давление, расход) до оптимального уровня, диктуемого производительностью установки;
- 3) замена неэффективного (с низким КПД) оборудования на современное, энергоэффективное;
- 4) ликвидация утечек и теплопотерь в распределительных сетях;
- 5) установка дополнительных систем контроля и регулирования расхода энергоресурсов.

Для разрабатываемых проектов указываются следующие характеристики:

1. *Название проекта* (до 10 слов позволяющих идентифицировать проект);
2. *Цель проекта*, т. е. что, будет достигнуто после его выполнения (например, сокращение удельных теплопотерь с 3,3 до 0,4 кВт на погонный метр трубопровода);
3. *Описание проекта* (краткая инструкция по основным этапам работы), например, удаление старой изоляции и замена её новым материалом ($\lambda = 0,04 \frac{\text{вт}}{\text{м} \cdot ^\circ \text{C}}$) и толщиной 100 мм;

4. *Стоимость выполнения работ.* Это единовременные капитальные затраты на:
- ✓ приобретение оборудования и материалов;
 - ✓ демонтаж старого и монтаж нового оборудования;
 - ✓ разработку проекта;
 - ✓ монтажные и пусконаладочные работы;
5. *Экономия от внедрения проекта.* Она должна быть подсчитана по экономии энергоресурсов в натуральных показателях ***в течение года***. Кроме того оценивается общая экономия в стоимостных показателях за год работы.

Примечание: в условиях изменения тарифов на энергоносители целесообразно оценивать экономию в двух вариантах:

- 1) по ценам на момент аудита, Π_1 ;
- 2) по ценам (прогнозируемым) на момент выполнения проекта, Π_2 ;

6. *Срок окупаемости:*

$$T_{ок} = \frac{Кап.затр(тыс.руб)}{Эк(тыс.руб / год)} \leq 2 - 2,5 \text{ лет} \quad (7)$$

Формула для расчета годовой экономии (\mathcal{E}) при изменении КПД и времени работы агрегата (τ):

$$\mathcal{E} = \left(\frac{N_1 \cdot \tau_1}{\eta_1} - \frac{N_2 \cdot \tau_2}{\eta_2} \right) \cdot \Pi \text{ [тыс.руб]} \quad (8)$$

где $\Pi = \text{const}$,

N_1 и N_2 - полезная мощность на моменты проведения обследования и реализации проекта соответственно,

η_1 и η_2 - КПД "старого" и "нового" оборудования соответственно.

При расчете в экономии в рублях при значительных сроках окупаемости. ($T_{ок} > 2,5$ лет) величину экономии необходимо рассчитывать по единым тарифам, привязанным или к моменту окончания аудита, или к моменту окончания работы по проекту.

Индекс 1 относится к существующему положению; индекс 2 к энергосберегающему проекту.

Разработанные проекты по энергосбережению оцениваются с позиции получения выгод для предприятия, причем не только экономических. К выгодам можно отнести:

1. Снижение энергопотребления;
2. Увеличение производительности;
3. Уменьшение выбросов в окружающую среду;
4. Улучшение качества продукции;
5. Снижение эксплуатационных расходов (по уходу за оборудованием);
6. Улучшение условий труда;
7. Уменьшение численности персонала;

8. Другие возможные выгоды.

1.11 Пятый этап энергоаудита: экспертиза проектов

Не все разработанные проекты целесообразно включать в энергопаспорт предприятия и рекомендовать к первоочередному воплощению в жизнь. В практике энергоменеджмента принято рассматривать только те проекты, срок окупаемости которых не превышает 2 - 2,5 лет.

По объёму капитальных затрат энергосберегающие проекты делят на три группы:

1. беззатратные;
2. малозатратные;
3. бюджетные или инвестиционные.

К **беззатратным** проектам относят мероприятия по энергосбережению, не требующих закупки нового оборудования и привлечения подрядных организаций. Для предприятий, не подвергнутых ранее энергоаудиту, доля экономии по беззатратным проектам может составить 5 - 15 % от общего энергопотребления. К таким проектам можно отнести следующие:

- 1) изменение режима работы предприятия;
- 2) переход по оплате электроэнергии на дифференцированный тариф;
- 3) оперативное отключение неработающего и неиспользуемого оборудования;
- 4) прекращение эксплуатации части трубопроводов и помещений.

К **малозатратным** мероприятиям относятся проекты для осуществления которых достаточно использование текущих средств предприятия. Иногда в качестве границы устанавливается предельная сумма капитальных затрат (для мелких предприятий до 1000 долларов). К малозатратным проектам относятся следующие мероприятия:

- 1) установка приборов контроля, учета и регулирования энергоресурсов;
- 2) восстановление теплоизоляции на существующих теплопроводах;
- 3) улучшение регулирования энергопотребления установок;
- 4) рационализация освещения рабочих мест;
- 5) утилизация тепла от тепловыделяющих технологических аппаратов для локального отопления.

Бюджетные или **инвестиционные** проекты - это мероприятия для реализации которых привлекаются средства более крупного объекта хозяйствования или кредит банка.

В этой связи технические и экономическое обоснование бюджетных проектов должно выполняться максимально скрупулезно. При этом необходимо с достаточной продуманностью обосновывать все допущения и условности. К таким проектам относят мероприятия связанные с заменой оборудования и технологических линий, с полной или частичной реконструкцией производства.

В заключение 5 этапа приводится таблица из 5-12 наиболее экономически значимых мероприятий. Таблица обязательно содержит следующие данные:

- 1) наименование проекта;
- 2) экономическая эффективность на год;
- 3) срок окупаемости.

При критическом анализе проектов кроме экономических показателей (экономия, срок окупаемости) целесообразно рассматривать и другие аспекты рационализации энергопользования, например:

- ✓ сокращение зависимости от внешних поставщиков энергии;
- ✓ упрощение схемы распределения энергоресурсов, т. е. повышение её надежности;
- ✓ снижение нагрузки на экологию;
- ✓ ликвидация определенных неудобств в управлении энергоснабжением.

Результаты энергоаудита (карты энергопотребления, уровень ключевых цифр удельных энергозатрат, изменение в энергопотреблении по ходу реализации энергосбережения проектов) являются основой для оптимального энергоменеджмента на предприятии.

Задача энергоменеджмента – “правильно” вести энергохозяйство, т. е. соблюдать баланс «потребления» и «прихода» энергоресурсов с учетом возможности «консервирования» избыточной энергии.

В теории энергосбережения существует понятие цикла или круга энергоменеджмента - это означает, что регулирование параметров энергопотребления и их анализ необходимо повторять после выполнения каждого значимого проекта энергосбережения.

2. Приемы экономии тепловой энергии.

2.1. Общие положения

В 1995 г. введено в действие изменение № 3 СНиП "Строительная теплотехника", которое вводит новые требования к уровню энергопотерь в строящихся сооружениях. Эти правила ограничивают и нормализуют плотность теплопотерь и толщину теплоизоляции в жилых объектах. В частности для Москвы установлено: максимальные теплопотери через стены - $0,45 \div 0,77 \text{ Вт/м}^2$; через крышу - $0,33 \div 0,4 \text{ Вт/м}^2$; через полы - $0,38 \div 0,45 \text{ Вт/м}^2$.

Эти нормы трансформируются в толщину и вес ограждающих конструкций применительно к конкретным материалам. Например, для кирпичной стены - её толщина должна составлять 0,9 - 1,1 м.

Для экономической оптимизации строительства в этих условиях целесообразен переход от ограждений из мономатериала к сложным конструкциям, где за конструкционную прочность отвечают одни материалы, а за теплоизоляцию - другие. Из конструкционных материалов оптимальное сочетание прочностных и теплоизолирующих свойств показывает дерево и некоторые марки легковесных строительных материалов (пенобетон, керамзитобетон).

Сформулируем требования к теплоизолирующим материалам:

- ✓ низкая теплопроводность (λ) и удельный вес (ρ);
- ✓ инертность к окружающей среде;
- ✓ высокая термостойкость (негорючесть, отсутствие вредных выделений при нагреве);
- ✓ экологичность и санитарная безопасность при применении.

Полезные советы:

При равных (λ) предпочтение следует оказывать пористому материалу с закрытым строением пор, т.е. устойчивому к влагопоглощению.

При проектировании сооружений целесообразно стремиться к минимальному периметру ограждений при заданных полезных площадях, т.е. круг или квадрат предпочтительнее прямоугольника или фигур сложных форм.

Теплопотери через стены при заданном градиенте температур (ΔT) зависят не только от термического сопротивления конструкций ($\sum \frac{\delta_i}{\lambda_i}$), но и от конвективной составляющей термического сопротивления ($1/\alpha_k$) с двух сторон ограждения. Для определения общего коэффициента теплопередачи (k) указанные термосопротивления складываются:

$$R_e = \left(\sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} \right) + \left(\frac{1}{\alpha_{k1}} \right) + \left(\frac{1}{\alpha_{k2}} \right) \quad (9)$$

$$k = 1 / R_e \quad (10)$$

Отсюда находится нормируемая СНиПом плотность теплового потока (q)

$$q = k \cdot \Delta T \quad [Вт / м^2] \quad (11)$$

Конвективный коэффициент теплоотдачи с каждой стороны ограждения (α_k) рассчитывается по инженерным зависимостям теории подобия, как

правило, через критерий Нуссельта (Nu), который, по сути, является безразмерным коэффициентом теплоотдачи:

$$Nu = \alpha_k \cdot \frac{l}{\lambda}$$

Для различных случаев теплообмена существуют многообразные инженерные зависимости, связывающие Nu с определяющими критериями (Re, Gr, Pr и т.д.). Не вдаваясь в специфику универсальных тепловых расчетов в первом приближении целесообразно использовать следующие формулы определения $\alpha_{k/2}$:

а) для вертикальных ёмкостей и стен:

$$\alpha_{k/2} = 1,64 \cdot \Delta T^{0,25}, [\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})] \quad (12)$$

б) для горизонтальных поверхностей:

$$\alpha_{k/2} = 1,97 \cdot \Delta T^{0,25}, [\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})] \quad (13)$$

где ΔT - разность температур на границе наружная поверхность - окружающая среда

Для компенсации внешних потерь энергии используется или конвективное отопление (паровое или водяное) или инфракрасное отопление, передающее тепло на 60 - 80 % путём излучения. Конвективные системы отопления характеризуется большой инерционностью, т.е. существенным временем выхода на заданный температурный режим, а также неравномерностью распределения температуры по высоте помещения. Последнее особенно существенно для производственных зданий. Инфракрасное отопление от электрических или газовых источников является практически безинерционным, обеспечивая высокую равномерность температуры воздуха по высоте помещения, из-за конвективного "выравнивания" температуры (от нагретых излучением поверхностей воздух поднимается вверх)

Для снижения параметров потребления при отоплении используются два основных приёма:

1. Уменьшение интенсивности теплоотдачи через дополнительное утепление ограждений;
2. Уменьшение градиента температур через оперативное регулирование внутренней температуры помещения в неиспользуемый период (ночное время, праздники). При этом эффективность регулирования температуры внутри помещения определяется типом отопления (конвективное или инфракрасное) и быстродействием регуляторов.

Конвективные системы отопления в многоквартирных домах, как правило, являются двухтрубными, когда отопительные приборы и точки водозабора включаются параллельно между « прямой » и « обратной » линиями (« горячая » и « холодная »). В частных домах устанавливаются, как правило, однотрубные системы, где горячая вода последовательно проходит радиаторы отопления.

Степень быстроедействия регуляторов температуры ($t = \text{const} \pm 1^\circ\text{C}$) конвективных систем колеблется от 15 - 20 мин до 30 - 45 мин. К сожалению, время установки заданной температуры при прогреве помещения существенно превышает указанное время, доходя до нескольких часов. Такие регуляторы показывают высокую экономическую эффективность при регулировании внутренней температуры до $t_{\min} = 5^\circ\text{C}$ в выходные и праздничные дни. К примеру, для помещений с 5-ти дневной рабочей неделей экономия составляет около 30 % затрат по отоплению.

Существуют стандарты или графики отопления по температуре: в странах Средней Европы график отопления 70 - 50 $^\circ\text{C}$; в странах Северной Европы график от 90 - 70 $^\circ\text{C}$ до 130 - 110 $^\circ\text{C}$.

Инфракрасные системы базируются на газовых или электрических элементах. Их объединяет существенная доля энергии, передаваемой излучением (60 - 80 %). По санитарным нормам минимальная высота помещения для инфракрасных нагревателей нормируется:

- Для электрообогревателей с мощностью 0,6 - 4 кВт минимальная высота подвеса составляет 2,5 м.
- Для газовых минимальная высота потолка - 4,5 м (из - за выделения продуктов горения).

Конструктивно газовые инфракрасные обогреватели представляют собой трубу, в которой горит газ, снабжённую вентилятором для вытяжки продуктов горения ($N_{\text{вент}} = 100 \text{ Вт}$). В качестве излучающей трубы используют стальные трубы со специальным термостойким покрытием с высокой степенью черноты. КПД газовых нагревателей составляет $\approx 90\%$. Газовые нагреватели бывают "светлые" ($t_{\text{пов}} \approx 800^\circ\text{C}$) и "темные" ($t_{\text{пов}} \approx 450\text{-}650^\circ\text{C}$).

Инфракрасные газовые нагреватели показывают максимальную эффективность в больших объемных высоких помещениях (склады, ремонтные цеха) с высотой потолков более 10 метров и необорудованных ранее системами конвективного отопления.

Инфракрасные нагреватели способны поднять температуру помещения от дежурной (5 $^\circ\text{C}$) до рабочей (16-18 $^\circ\text{C}$) в течение всего 20-40 минут. При установке электронагревателей избыточной мощности в бытовых помещениях) прогрев осуществляется в течение считанных минут.

Регулирование электронагревателей осуществляется методом включения-выключения, а газовых, кроме того, изменением расхода газа.

Экономия энергозатрат на отопление при использовании инфракрасных нагревателей осуществляется не только за счет их регулирования, но и путем перевода постоянно отапливаемых помещений в разряд периодически отапливаемых, а также через локализацию отопительных зон. Источники инфракрасного отопления целесообразно размещать над реальными рабочими зонами (над станком, над проходами в складских помещениях, над рабочим местом управляющего персонала)

Остальная часть помещения будет получать тепло за счет конвективного перераспределения.

Потери в распределительных сетях при отоплении касаются только централизованного теплоснабжения и практически определяются качеством теплоизоляции трубопроводов с учетом дефектов возникших при эксплуатации. Наименьшими потерями характеризуются теплопроводы, имеющие полиуретановую теплоизоляцию с механической защитой из толстого полиэтилена.

Снижению потерь в трассах способствуют следующие факторы:

- Переход от парового отопления к водяному;
- Снижение температурного графика подачи воды.

2.2. Источники энергии, используемые при отоплении.

По степени экологичности на первом месте стоит вторичное тепло промышленных предприятий. В Скандинавии из 100 % теплоснабжения доля промышленного тепла составляет от 25 до 32 %. При локальном отоплении отдельно стоящих цехов и помещений может быть использован теплоотвод от межступенчатых и концевых теплообменников компрессии. В виде тепла можно реализовать до 92% мощности привода компрессора

Во-вторых, можно использовать первичное топливо: твердое, жидкое, газообразное.

В условиях РФ возобновляемые источники тепла (например солнечные коллекторы, тепловые насосы) могут использоваться в качестве дополнительного источника отопления или в межсезонный период (весна - осень).

Солнечные коллекторы представляют из себя остекленные ящики, в которые помещена развитая поверхность теплообменных трубок с высокой поглощающей способностью. Остекление предотвращает конвективный унос тепла, а при соответствующем покрытии уменьшает "обратное" излучение. Для нагрева порядка 100 литров воды требуется поверхность не менее 2-3 м² нагревательных элементов. Такая установка обещает в летнее время сравнительно быстрый нагрев 100 литров воды до 45°С и выше с надежностью 70- 80 %. Стоимость солнечных коллекторов колеблется от 100 до 300 долларов за квадратный метр.

2.3. Эксплуатационные методы энергосбережения для котлов и теплообменников

Промышленная вода, используемая в качестве теплоносителя с реальной жесткостью 5-50 мг/л, находится при повышенных температурах (условие теплопередачи через металлическую стенку) и обязательно выделяет из себя соли жесткости, оседающие на стенках. Соли жесткости образуются на основе катионов кальция, магния и железа в присутствии анионов угольной, серной и других кислот. Наиболее сложны для удаления

соли кремниевой кислоты. Расчеты показывают, что для котельных агрегатов осаждение на стенку трехмиллиметрового слоя НКО (накипно-коррозионных отложений) приводит к перерасходу топлива на 20-25% по следующей схеме (рис. 5).

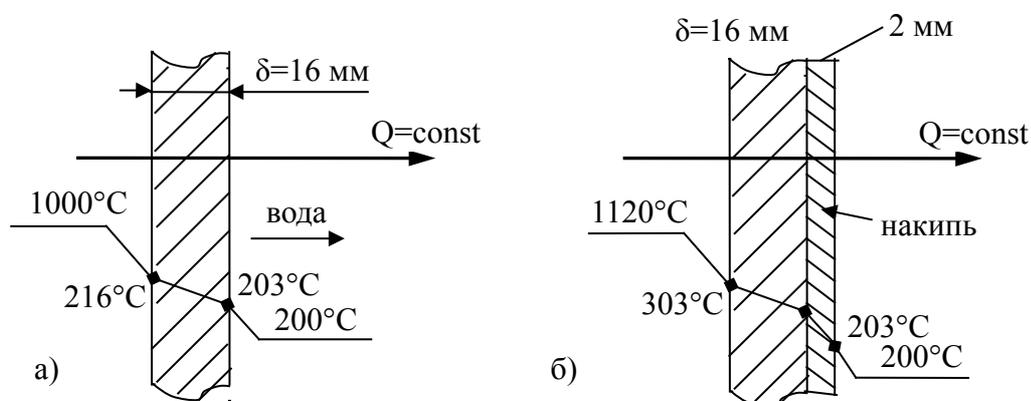


Рис. 5 Теплопередача через металлическую стенку, без накипи (а) и со слоем накипи (б)

В отсутствии дополнительного расхода топлива после появления НКО у нас понизится производительность водонагревательного аппарата. Для поддержания теплопроизводительности на том же уровне мы будем вынуждены увеличить расход топлива для поднятия температуры с 1000 до 1120°C (по греющему теплоносителю).

Скорость роста отложений накипи определяется следующей формулой:

$$\varphi = 1,3 \cdot 10^{-13} \cdot C \cdot q, \left[\frac{\text{мг}}{\text{см}^2 \cdot \text{час}} \right] \quad (13)$$

где, C - концентрация накипеобразователей [мг/л].

q [Вт/м²] - плотность теплового потока через стенку.

Методы очистки теплопередающих поверхностей от накипи

Они делятся на три группы:

1. Механические методы;
2. Электрофизические методы;
3. Химическая отмывка.

Механические методы осуществляются двумя путями:

- 1) Через «высверливание» и «скалывание» НКО.

2) Через «гидравлическое срезание» накипи струёй воды высокого давления.

К принципиальным недостаткам механической очистки относятся:

- a) Большая трудоемкость;
- b) Возможность выполнения работ в только коротких теплообменниках (например, при диаметре трубок 20 мм, максимальная длина теплообменника не более 2-3 м);
- c) Возможность повреждения стенок трубки инструментом (сверлом);
- d) Невозможность очистки змеевика и U - образных труб.

Электрофизические методы реализуются в двух вариантах:

1. Через импульсный гидроудар в результате электроразряда (например "Зевс - технология");
2. Через разрушение структуры НКО путем переориентации кристаллов накипеобразователей (установки «Water King» - искусственное омагничивание воды).

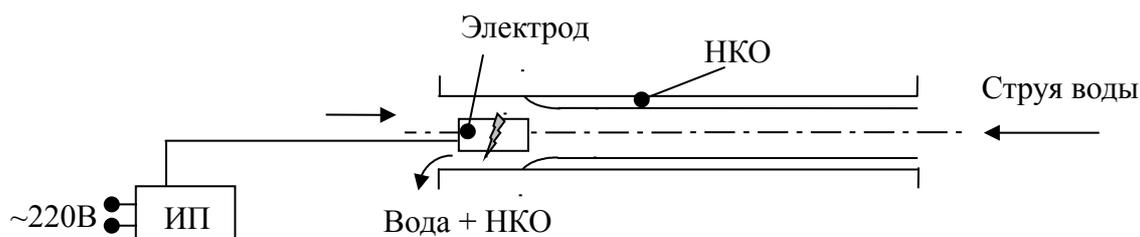


Рис. 6 Схема разрушения НКО по "Зевс - технологии"

Зевс - технология применима для удаления твердых НКО.

Рекламируемая в настоящее время система "Water King" основана на воздействии асинхронно меняющихся импульсов электромагнитного поля (350 вариантов), которые преобразуют структуру накипи в хрупкую легкоразрушаемую водяным потоком конструкцию отложений или предотвращает осаждение солей жёсткости на защищаемом участке теплообменной поверхности за местом включения прибора.

Электрофизические методы удаления НКО требуют приобретения специальных установок и преобразователей энергии, а, кроме того, универсальность их полезного воздействия не всегда подтверждается.

Химическая отмывка от накипи.

Эта методика не требует разборки теплообменных систем и осуществляется двумя группами реагентов:

1. На основе неорганических кислот (соляной, серной, фосфорной) с обязательным введением ингибиторов коррозии;
2. На основе органических кислот селективного действия с активаторами.

Неорганические реагенты очень эффективны при отмывке всех типов НКО, кроме кремниевых соединений. Они не требуют активизации промывающего раствора с помощью температуры.

К основным недостаткам неорганических реагентов относятся:

- коррозионная опасность отмывающего раствора для металлоконструкций (реагенты “не отличают” накипь от материала поверхности теплообмена);
- необходимость соблюдения жестких норм техники безопасности;
- обязательная нейтрализация отработанных растворов;
- установки для отмывки (базовая емкость, насос, соединительные коммуникации) должны быть в коррозионно-защищенном исполнении.

Наиболее удобными для селективного удаления НКО в коррозионно- и экологически безопасном варианте являются органические преобразователи накипи. Рассмотрим действие этого класса реагентов на примере препарата ЛИН (разработка НПО "Росэко" и ВНИИ коррозии).

Органические составы типа ЛИН используют в качестве активатора процесса температурный фактор ($t_{\text{раб}} \geq 50^\circ\text{C}$). В качестве химических активаторов применяют аскорбиновую кислоту со специальными добавками. Процесс отмывки можно реализовать в двух вариантах:

1 - через проток раствора в непрерывном режиме;

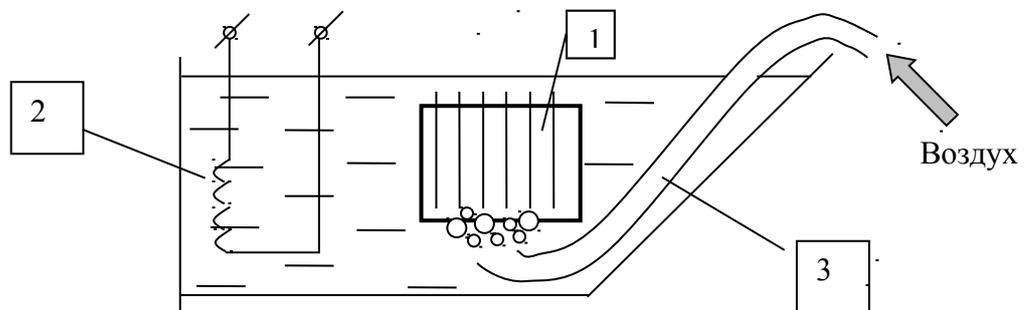


Рис.7 Схема отмывки НКО методом окунания (1-теплообменник, 2-нагреватель, 3-шланг подачи воздуха).

2 - через отмывку небольших теплообменников (с «зарастанием» теплообменных трубок до 100%) в специальных емкостях методом «окунания».

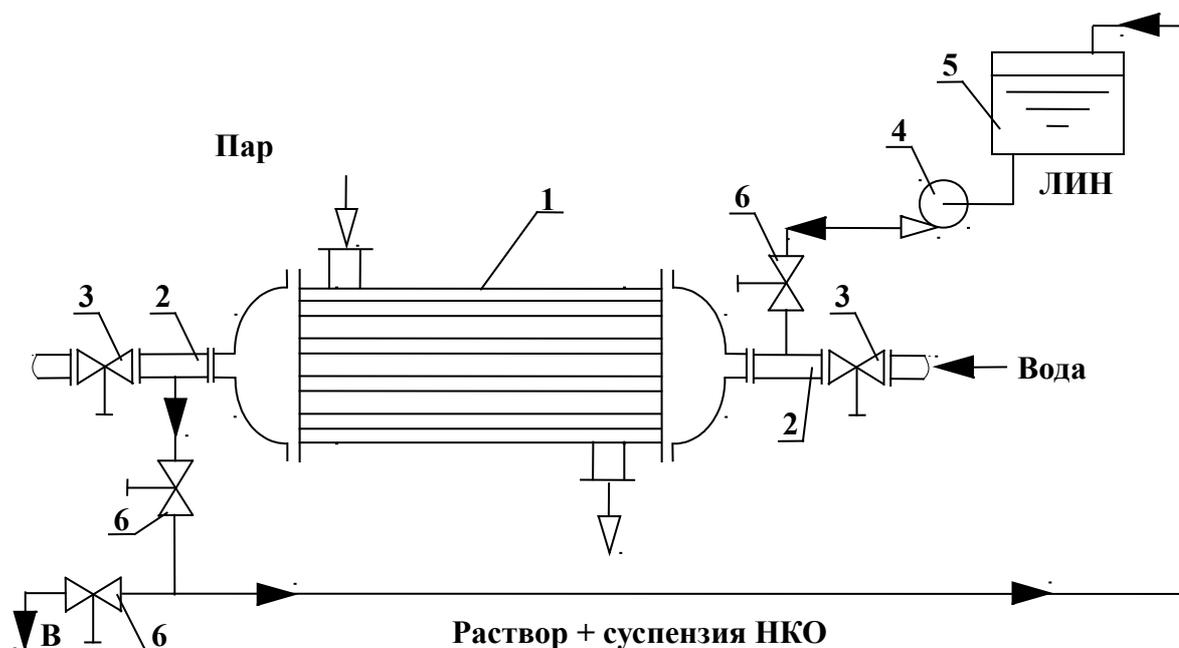


Рис. 8 Схема профилактической отмывки теплообменника в непрерывном режиме.

- 1 – кожухотрубчатый теплообменник (пар-вода);
- 2 – соединительная проставка;
- 3 – технологическая задвижка;
- 4 – насос подачи реагентов;
- 5 – базовая ёмкость раствора реагентов;
- 6 – отсекающие вентили.

Для отмывки органическими преобразователями накипи необходимо выполнение трех условий:

- 1 - Температура процесса должна быть выше температуры активации (не ниже $60\text{ }^{\circ}\text{C}$);
- 2 - Начальная концентрация реагентов должна быть выше критической (для ЛИН более $40\text{-}50\text{ кг/м}^3$ в расчете на водный объем);
- 3 - Скорость движения жидкости в районе нахождения объекта должна обеспечивать унос разрушенной накипи из зоны отмывки (скорость не менее $0,1 - 0,2\text{ м/с}$).

Расход реагента определяется из расчета $0,2\text{-}1,0\text{ кг}$ ЛИН на кг “сухой” НКО, но при этом должна соблюдаться рабочая концентрация не менее $18\text{-}20\text{ кг/м}^3$ раствора.

Приготовление раствора не требует соблюдения специальных мер предосторожности, а отработанный раствор (цвет черного кофе) имеет pH $7\text{-}7,5$ и может без нейтрализации сбрасываться в обычную канализацию.

3. Приемы сокращения затрат электроэнергии.

3.1. В нагревательных печах

Как известно, функциональное назначение нагрева заключается в следующем:

- сушка материалов и лакокрасочных покрытий;
- термообработка изделий;
- разогрев сырья или катализатора.

Полезные советы по электропечам:

1. По возможности заменить электронагрев газовым или паровым (см. эксергетический подход);
2. Минимизировать необходимую температуру процесса за счет рециркуляции среды внутри печи;
3. Соблюдать соответствие между объёмом печи и объемом изделий, подлежащих нагреву;
4. Минимизировать время работы нагревательных элементов печи, используя для разогрева изделий периодические подъемы температуры.
5. Сократить теплопотери путем усиления теплоизоляции корпуса печи и автоматизации процесса открывания-закрывания герметичных дверей при операциях загрузки и выгрузки.
6. Обдумать возможность использования тепла, генерируемого внутри печи, для локальных целей.

3.2. На освещение

В настоящее время, использование электроэнергии в этой сфере не имеет альтернатив, здесь приведен комплекс мероприятий по сокращению энергозатрат на освещение:

1. Максимально использовать дневное освещение, чистить окна, осветительные фонари и т.д.
2. Отключать осветительные приборы в неиспользуемых помещениях и в ночное время.
3. Перенос некоторых видов работ из неиспользуемых корпусов в помещения с интенсивным проведением работ.
4. Замена неэффективных осветительных приборов (типа лампы накаливания $t=2500 - 2700$ К) высокоэффективными генераторами света: галогенные лампы ($t = 3000 - 4000$ К), люминесцентные ($t=2700 - 5300$ К), флуоресцентные ($t=2800 - 6500$ К). Употребление эффективных источников света повышает удельный световой поток с 10-12 Люмен/Вт до 80-100 Люмен/Вт и повышает ресурс источников света с 1000-2000 часов (лампа накаливания) до 12 - 18 тыс. часов (энергоэффективные лампы).
5. Использовать эффективную светоотражательную арматуру (коэффициент усиления по отношению к обычной 1,5 - 2,5);

6. Соблюдать график очистки светоотражающей арматуры. При этом целесообразно использовать арматуру с автоматической очисткой за счет теплового движения воздуха.
7. Целесообразно выполнить окраску стен и рабочих панелей светоотражающими красками.
8. Применение современных систем включения и отключения осветительных приборов, срабатывающих на присутствие или переводящих рабочий режим освещения в дежурный.

Затраты на освещение в общем балансе энергозатрат, как правило, не превышает 10%.

3.3. В аппаратуре, использующей электропривод

Основные потребители электроэнергии на производстве - это электроприводы, использующие электроэнергию на перемещение материалов и на повышение давления газов и жидкостей.

Регулирование электропривода.

При работе с электроприводом важно "правильно" вести хозяйство, т.к. двигатель недогружен - перерасход электроэнергии, если двигатель перегружен - отказ аппарата вследствие сгорания обмоток мотора. В качестве критерия загрузки используют параметр β :

$$\beta = \frac{N_{\text{факт}}}{N_{\text{ном}}} \quad (14)$$

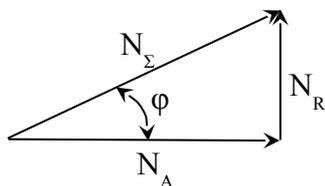
Где: $N_{\text{факт}}$, $N_{\text{ном}}$ - фактическая и номинальная мощности соответственно.

Если $\beta < 45\%$, замена электродвигателя на меньший целесообразна всегда. При $\beta > 70\%$ замена нецелесообразна - необходимо регулирование. При $\beta = 45-70\%$ вопрос замены или регулировки двигателя требует комплексной экспертизы (сравнение затрат и выгод).

При анализе работы электродвигателя независимо от его типа используются два параметра: КПД_(η) и $\cos \varphi$:

$$\eta = \frac{N_{\text{мех}}}{N_{\text{электр}}} \quad (15)$$

$$\cos \varphi = \frac{N_{\text{акт}}}{J \cdot U} \quad (16)$$



$$N_{\Sigma} = N_A + N_R \quad (17)$$

Регулирование соотношения активной и общей мощности осуществляется в рамках энергетического хозяйства отделения, цеха или предприятия путем структурных включений компенсирующих элементов.

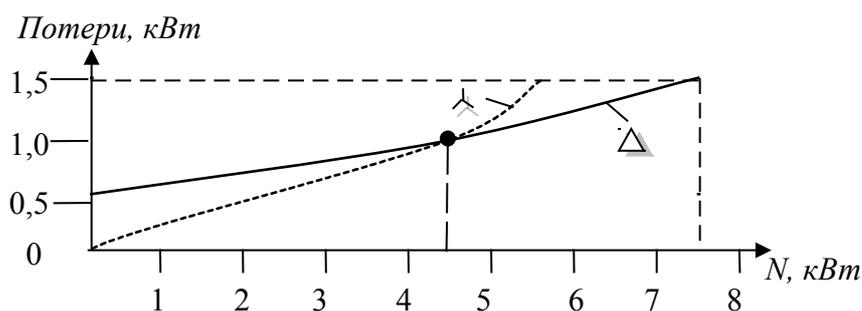
В настоящее время выпускаются энергетически эффективные электродвигатели, имеющие долю "постоянных" потерь в стали на 2-5% ниже чем в обычных электродвигателях (моторах).

Сравнительная цена 1кВт мощности:

1. Стандартные моторы 35 у.е./кВт;
2. Многоскоростной мотор 36-40 у.е./кВт;
3. Мотор со ступенчатым токовым управлением 100 у.е./кВт;
4. Мотор с системой частотного регулирования скорости 200 у.е./кВт (при мощности менее 15 кВт), 70-120 у.е./кВт при мощности более 15 кВт.

Для электродвигателей со стандартным соединением обмоток в «треугольник» уменьшение рабочей мощности можно получить переключением обмоток в «звезду» за счет уменьшения относительной доли постоянных электропотерь.

К примеру, для двигателя мощностью 7,5 кВт уровень абсолютных потерь связан с видом соединения обмоток следующим образом:



При мощности $N_{\text{ном}} < 50\%$ потери, в двигателе при соединении обмоток в «звезду» ниже чем при стандартном соединении в «треугольник». Например, при $N = 1$ кВт потери падают с 0,5 до 0,25. При $N \geq 4,6$ кВт, стандартное соединение эффективнее.

Наиболее универсальное, но более дорогое, частотное регулирование электро привода, особенно при работе с датчиками расхода, температуры и давления позволяет экономить в компрессии до 45% энергозатрат, в воздуходувках до 30%, а в насосах до 25%.

Механический КПД электропривода снижается также за счет потерь в трансмиссии (мотор - исполнительный орган):

Сравнительный КПД различных типов трансмиссий:

1. Ремень V- образного сечения - 93-95%,
2. Многоремённая - 90-93%,
3. Плоский ремень - 96-98%,
4. Шестеренчатая передача - 87-89%,
5. Цепная передача - 97-98%
6. Червячная передача 40:1- 60-70%; 5:1 - 91-96%.

Общий КПД двигатель-трансмиссия:

$$\eta = \eta_{\varepsilon} \cdot \eta_{TP} \quad (18)$$

где: η_{ε} - КПД электродвигателя
 η_{TP} - КПД трансмиссии

3.4. Экономия электроэнергии в насосных системах /6,8,9/.

Насосная система включает в себя: насосный агрегат, трубопроводы с установленной арматурой, технологические водоиспользующие объекты (колонны, нагреватели, теплообменники т.д.)

Расчет полезной мощности насосного агрегата ($N_{пол}$) можно производить по следующей схеме:

$$N_{пол} = G \cdot \Delta P \quad (19)$$

где G – расход [$м^3/с$],
 ΔP – напор [кПа],
 $N_{пол}$ [кВт]

Потребляемая (затраченная) мощность рассчитывается с учётом КПД:

$$N_{затр} = \frac{N_{пол}}{\eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3} \quad (20)$$

где η_1 – КПД двигателя,
 η_2 – КПД трансмиссии,
 η_3 – КПД насоса

Общий напор, развиваемый насосом на выходе из агрегата можно рассчитать по формуле:

$$\Delta P = \frac{P_2 - P_0}{\rho \cdot g} + (z_2 - z_0) + \frac{V_2^2 - V_0^2}{2 \cdot g} \quad (21)$$

где: $z - z_0$ - разность уровней водозабора и объекта,
 $V_2 - V_0$ - скорость жидкости на выходе и на входе,
 $P_2 - P_0$ - рабочее давление на выходе и на входе,
 ρ - средняя плотность жидкости,
 g - ускорение свободного падения.

Как правило, основной вклад в напор вносит первый член уравнения, поэтому при установке насосов на уровне объектов потребления (при сохранении скорости на входе и на выходе) и в близких пределах, уравнение (21) упрощается:

$$\Delta P \approx \frac{(P_2 - P_0)}{\rho \cdot g} \quad (21a)$$

Типичная характеристика насоса и сети представлена на рис. 9

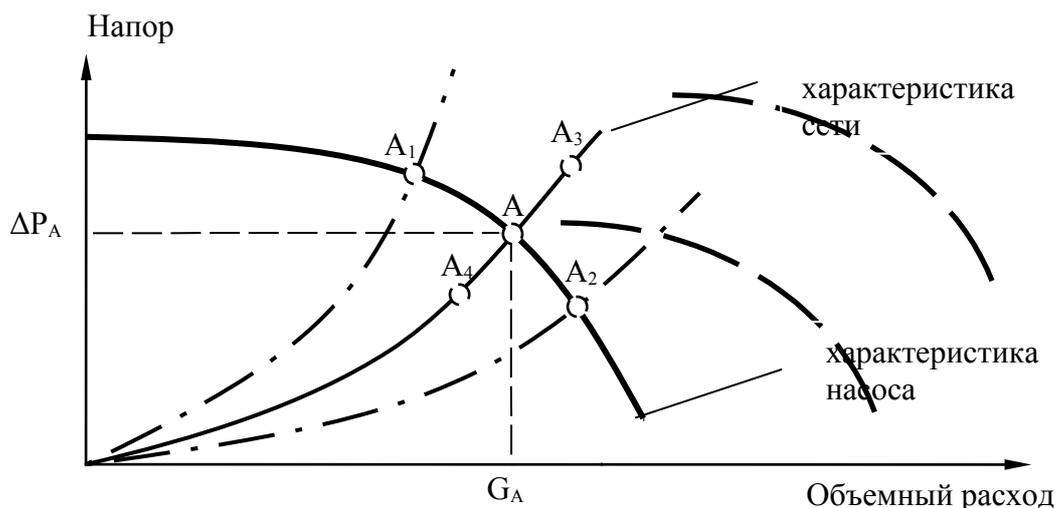


Рис. 9 Управление характеристиками насоса

Рабочая точка «А» (напор ΔP_A и расход G_A) будет смещаться при увеличении (A_1) или уменьшении (A_2) сопротивления сети. При увеличении скорости вращения рабочего колеса она перенесется в точку A_3 , а при уменьшении скорости колеса - в A_4 . Таким образом, рабочие характеристики насоса можно активно регулировать различными управляющими воздействиями.

Операцию по сокращению электропотребления насоса необходимо начинать с минимизации напора ΔP и расхода G . Для уменьшения напора насоса целесообразно снизить гидравлическое сопротивление на технологической нагрузке (например, очистить трубки теплообменника от накипи, заменить теплообменник с заглушенными трубками на новый, упорядочить размещение насадки в абсорбционной колонне, равномерно распределить жидкость по сечению аппарата и т.п.).

Для уменьшения расхода жидкости целесообразно ликвидировать утечки в основном аппарате и трубопроводе, повысить срабатываемый или получаемый перепад температур в теплообменных устройствах. Последнее следует из балансового соотношения:

$$Q = G \cdot C_p \cdot \Delta t = const \quad (22)$$

При заданной теплопроизводительности (Q) расход (G) уменьшается пропорционально росту перепада температур (Δt).

Для минимизации энергопотерь в трубопроводе целесообразно:

- Минимизировать скорость движения жидкости (для снижения гидравлических сопротивлений).

- Уменьшить количество местных сопротивлений в виде переходов диаметра труб и неиспользуемой арматуры;
- На горячих трубопроводах необходимо осуществлять очистку от отложений и наружную теплоизоляцию.

При переходе к оптимизации собственно насосного агрегата мы имеем минимально необходимые полезную мощность, расход и напор. Отметим, что максимальная эффективность работы насосного агрегата соответствует его номинальной нагрузке (N_0). При изменении нагрузки, насос необходимо регулировать.

Сравнительная эффективность разных методов регулирования может быть отражена следующим образом (рис 10):

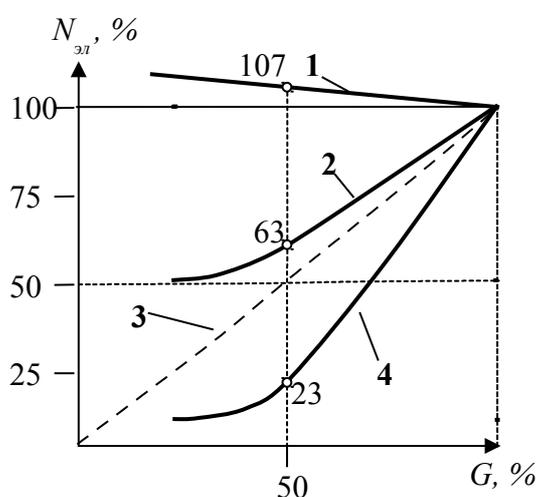


Рис. 10 Сравнительная эффективность различных методов регулирования насосов

1- байпас, 2- дроссель, 3- регулирование пуском и остановом параллельно работающих насосов, 4- частотное регулирование

Регулирование насосов методом пуска - остановки (3) применяется для "батареи" параллельно работающих насосов, имеющих близкие напорные характеристики и снабжённые:

- а) обратными клапанами
- б) устройствами быстрого пуска.

Частотное регулирование скорости вращения рабочего колеса (4) в пределах 5-100 Гц даёт изменение скорости вращения в пределах 10 - 200 %.

Метод регулирования № 1, 2 и 4 относится к индивидуальным насосам, № 3 - только для «батареи» насосов. Как видно, из графиков, регулирование перепуском (байпас) энергетически неэффективно.

При проектировании работы батареи насосов целесообразна установка агрегатов различной производительности, соответствующей основным диапазонам расходов на графике нагрузки в течении года. Например: с максимальной нагрузкой (100%) насос работает 15% времени, с 80%

нагрузкой насос работает полгода, а в остальное время нагрузка не превышает 40% производительности.

В этом случае, вместо установки регуляторов расхода на насос требуемой мощности, можно установить батарею насосов в двух вариантах

Вариант А: $N_1=40\%$; $N_2=40\%$; $N_3=20\%$

Вариант В: $N_1=80\%$; $N_2=20\%$; $N_3=20\%$

Причем, для точного экономичного регулирования расхода к потребностям объекта, один из насосов можно оборудовать частотным регулятором.

Насосное хозяйство в энергопотреблении химических предприятий занимает 10 - 15% электропотребления. При этом, кроме различных методов регулирования целесообразно использовать аккумулирующие ёмкости для воды типа водонапорных башен, а также по возможности организовать работу мощных нерегулируемых насосов по «ночному» тарифу энергопотребления.

Представляет интерес снижение энергопотребления через уменьшение диаметра рабочего колеса насоса и оптимизация его рабочего профиля.

3.5. Экономия электроэнергии в вентиляционных системах

В промышленности на эти цели используется около 10% электроэнергии. Напорно-расходные характеристики вентиляторов формально напоминают соответствующие характеристики насосов (см. рис.10).

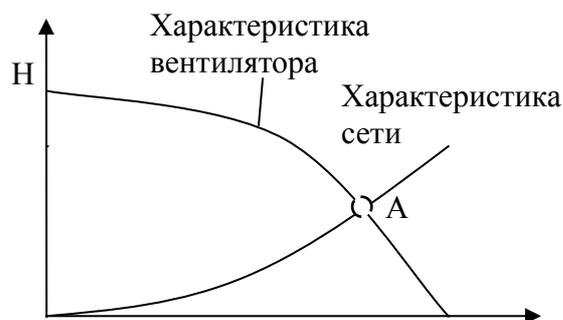


Рис. 11 Пример сочетания вентилятора и сети.

Как для «несжимаемой жидкости» расход (G), напор (H) и мощность (N) в зависимости от угловой скорости вращения рабочего колеса (n) для вентиляторов и насосов запишется аналогично:

$$G_2 = G_1 \cdot \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^1 \quad (23)$$

$$H_2 = H_1 \cdot \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^2 \quad (24)$$

$$N_2^{пол} = N_1^{пол} \cdot \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^3 \quad (25)$$

Указанные выражения (23-25) носят название "законы вентилятора" ("законы насоса").

Примечание: при регулировании скорости для уменьшения расхода неизбежно уменьшается и напор, создаваемый вентилятором или насосом.

Качество вентиляции определяется коэффициентом обмена:

$$K_{обм} = \frac{G [лм^3/час]}{V [м^3]}, \text{ час}^{-1} \quad (26)$$

где: V - объем вентилируемого помещения

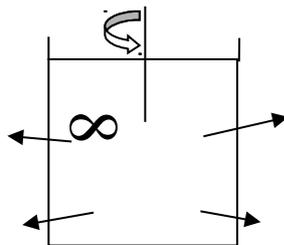
Для производственных помещений санитарные нормы устанавливают $K_{обм} = 4 - 6 \text{ час}^{-1}$.

Увеличения коэффициента обмена, при сохранении мощности вентилятора возможно через уменьшение объема вентилируемого помещения (путём его секционирования: перегородки, закрытие дверей и другие методы герметизации).

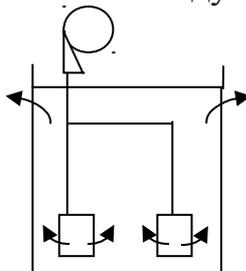
Кратность обмена, установленная санитарными нормами, зависит не только от степени «вредности» производства (газы, пыль, тепло), но и от принятой схемы организации общей вентиляции.

Различают три системы общей вентиляции:

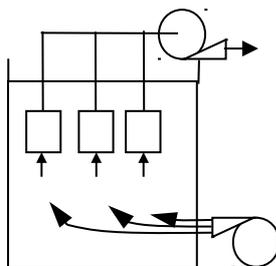
1) «смешивающая» (вентилятор, установленный сверху, разгоняет загрязненный воздух по объему помещения, а тот, случайным образом, утекает через ограждения):



2) схема "вытеснения" (подача свежего воздуха осуществляется снизу):



3) «приточно – отточная» (организованная система течения воздуха как на входе, так и на выходе из помещения):



Требуемая кратность вентиляции уменьшается при переходе от «смешивающей» к «приточно - отточной», что снижает требуемую мощность вентиляторов.

Минимальные затраты мощности на удаление особо вредных веществ достигаются при добавлении к общей вентиляции местной вытяжки с высокой скоростью отсасывания $V_{отс}$.

$$V_{отс} = \frac{G}{S} \geq V_{норм} \quad (27)$$

где: S - площадь раструба для местного отсоса

G - объемный расход воздуха

Для соблюдения санитарных условий (27) при минимальной мощности вентилятора целесообразно регулировать сечение раструба S .

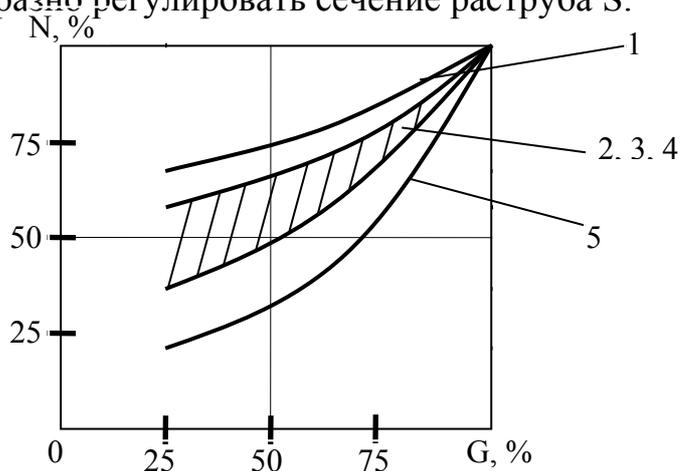


Рис. 12 Сравнительная эффективность различных методов регулирования вентиляторов

Как следует из графиков, все методы управления расходом, кроме установки заслонки (1), одинаково эффективны. Частотное регулирование (5) физически эффективно, но экономически малоприспособно из-за высокой цены регулятора.

Для расчета полезной ($N_{пол}$) и затраченной (N_{Σ}) мощности привода вентилятора можно использовать формулы (19) и (20).

После минимизации параметров потребителя с учетом выбора схемы вентиляции можно оптимизировать систему распределения, т.е. рассмотреть возможность экономии в коробах разводки воздуха.

Для минимизации утечек в коробах распределения необходимо:

1. Герметизировать места соединений секций коробов;
2. Секционировать распределительную сеть, чтобы иметь возможность оперативного отключения неработающих объектов;

3. Минимизировать линейную скорость воздуха до уровня 1-3 м/с.

После оптимизации объектов вентиляции и газоходов необходимо перейти к регулированию собственно вентиляторов. Самый эффективный способ регулирования вентиляторных групп, работающих на единую нагрузку: метод "включения - отключения" отдельных вентиляторов не всегда эффективен из-за снижения КПД при уменьшении расхода (см. таблицу 2). Поэтому используют методы индивидуального управления (см. рис. 12):

1. управление заслонкой (демпфером);
2. переключение скоростей на двухскоростных электроприводах;
3. регулирование углом наклона лопаток рабочего колеса (для осевых вентиляторов) или регулирование направляющей лопаткой (для центробежных вентиляторов);
4. применение гидро- и электромумфт между приводом и колесом вентилятора;
5. частотное регулирование скорости вращения.

Целесообразность усовершенствования системы вентиляции может быть определена по критерию удельных энергозатрат:

$$N_{уд} = \frac{N_{затр} [кВт] \cdot \tau [час]}{V [м^3]} \leq 2,5 \left[\frac{кВт \cdot час}{м^3} \right] \quad (28)$$

При соблюдении этого условия система работает хорошо и усовершенствовать нет необходимости

В отличие от насосов эффективность работы вентилятора (КПД) определяется его схемой и уровнем мощности.

Общий КПД вентилятора связан с его мощностью следующим образом:

таблица 2

N	1кВт	10кВт	100кВт
Осевой	0,75	0,85	0,90
Центробежный (с лопатками назад)	0,65	0,8	0,85

Отсюда следует, что установка "батарей" вентиляторов малой мощности взамен регулируемого крупного вентилятора, не может быть однозначно эффективна.

3.6. Экономия электроэнергии в компрессионном хозяйстве

В химической промышленности компрессия предназначена для сжатия технологических газов, а также воздуха от одной атмосферы до рабочих параметров. При этом используются компрессоры различных типов: поршневые, центробежные, винтовые, мембранные (в особо коррозионных средах). Но термодинамический процесс сжатия для всех типов компрессоров идентичен.

КПД компрессора, т.е. доля энергии, пошедшая на сжатие среды составляет 7-9%. К примеру, винтовой компрессор мощностью 6,9 кВт с давлением на выходе 700 кПа и производительностью 0,89 м³/мин при работе расходует электроэнергию привода по следующим статьям (100%):

- 1) 68,8% - отводится с маслом.
- 2) 13,7% - отводится со сжатым воздухом (ΔT и ΔP).
- 3) 7,5% - теряется в воздушном холодильнике.
- 4) 10% - теряется в приводе.

Поэтому, при регулировании компрессоров кроме экономии электроэнергии на привод, характерной для насосов и вентиляторов, необходимо в обязательном порядке использовать вторичное тепло процесса сжатия на полезной цепи (отопление и горячее водоснабжение).

Схема компрессионной установки, работающей на потребителей давления 700кПа и 250кПа представлена на рис 13.

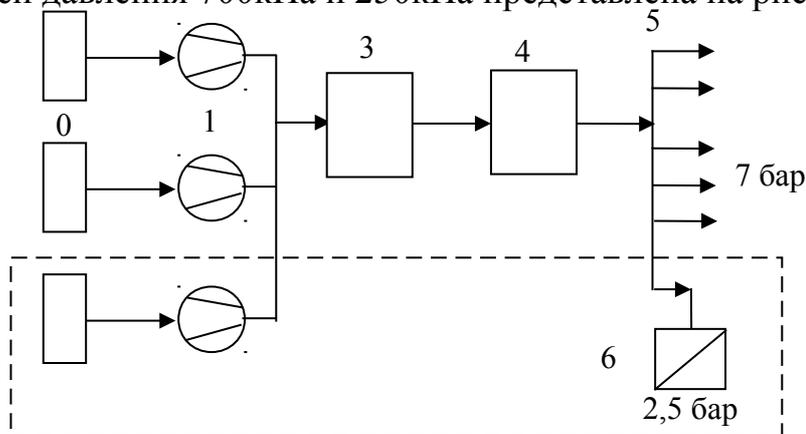


Рис. 13 Схема компрессорной установки работающей на общую сеть.

0 – воздушный фильтр; 1 – компрессор с электроприводом;
3 – влагомаслоотделитель; 4 - буферная емкость; 5 - распределительная гребенка; 6 - понижающий редуктор.

Мощность, затрачиваемая при холостом ходе новых компрессоров 15-30%, изношенных – достигает (с учётом сети распределения) 70-90% производительности.

При технологическом останове производства, когда работа компрессора компенсирует только утечки в линиях, можно оценить необходимый технологический расход сжатых газов.

Чтобы разделить расходы сжатого воздуха на пневмоинструмент и утечки есть таблица расхода воздуха на пневмоинструменты различного назначения. Например при давлении воздуха 0,7 МПа:

- Дрель Ø 10 мм– 4-8 л/сек;
- Дрель Ø 10-12 мм – 8 -16 л/сек;
- Перфоратор – 20-250 л/сек;

- Пневмораспылитель – 5-130 л/сек.

Очевидно, что стоимость работ пневмоинструментом на порядок выше, чем при использовании электропривода. Поэтому во всех случаях, когда это возможно, пневмоинструмент надо заменять электроинструментом (кроме опасных цехов).

Зависимость утечек и энергопотерь от давления сжатого воздуха для различных отверстий приведена в таблице 3:

Таблица 3

Диаметр отверстия, мм	Расход, л/сек			Потери мощности, кВт		
	P=0,4 МПа	P=0,8 МПа	P=1 МПа	P=0,4 МПа	P=0,8 МПа	P=1 МПа
1	0,7		1,6	0,2		0,7
5	18	[33]	40	4,6	[13]	17
10	73		161	18		69

К примеру, через одно отверстие диаметром 5 мм в течение 365 дней утекает воздух, унося бесплатно (при давлении 0,8 МПа):

$$N_{эл} = 13 \cdot 365 \cdot 24 = 114000 \text{ кВт} \cdot \text{час.}$$

Свидетельством наличия утечек воздуха в распределительных цепях является свист. Наиболее эффективный способ уменьшения утечек в распределительных цепях – секционирование сети с оперативным отключением неиспользуемых участков.

Индивидуальное регулирование производительности компрессора, как правило, осуществляют:

1. Через перепускной клапан (байпас);
2. Через разгрузочный клапан на выходе;
3. Через управление скоростью вращения привода (частотное регулирование).

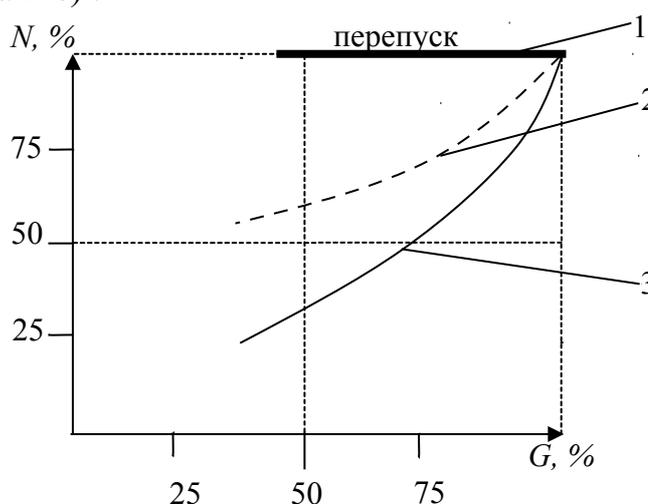


Рис. 14 Эффективность различных методов регулирования компрессоров.

Регулирование компрессоров методом пуска – останова параллельно работающих аппаратов не применяется из-за большой инерционности

системы по давлению. Наиболее рациональный способ регулирования компрессора – частотное регулирование скорости электропривода.

Мощность компрессора связана со степенью сжатия газа ($\beta = \frac{P_{\text{вых}}}{P_{\text{вх}}}$):

$$\frac{N_{\text{эл.1}}(P = 2,5)}{N_{\text{эл.2}}(P = 7)} = \frac{\beta_1^{\frac{k-1}{k}} - 1}{\beta_2^{\frac{k-1}{k}} - 1} \approx 0,35^* \quad (29)$$

*При $\beta_1 = 2,5$, $\beta_2 = 7$, $k = 1,4$.

Экономия расхода мощности от снижения давления (с 700 до 250 кПа) при копремивровании необходимо сопоставить с дополнительными затратами на установку маслоотделителей, буферов и сети распределения на меньшее давление. Плюс затраты на покупку нового компрессора.

Рациональный путь решения проблемы потребления сжатого воздуха разных параметров – замена общей компрессии локальными компрессорами, установленными по месту потребления сжатого воздуха.

Для соблюдения оптимального теплового режима работы компрессоров целесообразно выносить воздухозабор за пределы отапливаемого помещения и облегчать работу межсекционных и выносных холодильников путём:

- а) охлаждения средами и недопуском образования накипи, например, маслом (тосолом);
- б) своевременно и регулярно производить очистку поверхностей теплообмена от НКО (хладоагент – вода);
- в) охлаждать жидкость подаваемую в холодильники до уровня предписанного инструкцией.

Полезные советы для снижения затрат на компрессию, можно резюмировать так

1. Снизить требования к уровню необходимого давления. При уменьшении давления на 1 атм, мощность снижается на 2-15 %;
2. Снизить температуру забираемого воздуха. При уменьшении температуры на 5°С, потребляемая мощность снижается на 1%;
3. Использовать при изменении производительности разномасштабные компрессора.
4. Использовать многоступенчатые компрессора, а не одноступенчатые. Новые модели компрессоров, а не устаревшие.
5. Для импульсных потребителей, например, для продувки фильтров сжатым воздухом, установить дополнительно ресиверы.
6. Критически рассмотреть целесообразность использования сжатого воздуха на пневмоинструмент.
7. После минимизации электропотребления в компрессии встаёт особая задача утилизации 90% затраченной электрической мощности отводимой в виде тепла. Поэтому крайне целесообразно

организовать полезное использование отводимого тепла следующим образом:

- a) Локальное отопление помещения компрессии и отдельно расположенных зданий вблизи неё.
- b) Организация горячего водоснабжения в помещениях прилегающих к компрессии.
- c) Организация предварительного подогрева и поддержания необходимой температуры технологического сырья.

3.7. Особенности экономии электроэнергии в компрессионных установках холодильной техники

При оптимизации работы холодильных камер на основе компрессоров целесообразно:

1. Минимизировать необходимую температуру охлаждения (понижение температуры на 1°C вызывает снижение потребления электрической энергии на 2-5%).
2. При дифференцированном тарифе замораживание продуктов и загрузку камер производить в ночное время. В дневное время работают только хорошо регулируемые компрессора (типа винтовых), компенсирующие потери холода при разборе продуктов холодильника.
3. Внутри холодильной камеры необходимо минимизировать выделение тепловой энергии от электроосвещения и электроприборов.
4. На въездных воротах холодильника устанавливаются малоинерционные системы закрытия – открытия помещения и механические завесы.
5. При переменной загрузке холодильника целесообразно секционирование объемов холодильной камеры.

4. Специальное оборудование энергосбережения

Приёмы экономии энергии не изобретение последнего времени, а продолжение традиции экономии ресурсов, сопровождающее человечество в течение его истории.

Сравнение традиционных и энергосберегающих установок представлено в таблице 4:

Таблица 4

Традиционные установки	Энергосберегающие установки
Топочный котёл	Котёл утилизатор
Обычный котёл	Конденсационный котёл
Насос с электроприводом	А) многоскоростной насос Б) частотнорегулируемый насос В) пароструйный инжектор-смеситель

	Г) водонапорная ёмкость
Компрессор с электроприводом	Турбокомпрессор
Лампа накаливания	Газоразрядная лампа , излучающая лампа
Конвективный нагреватель	Инфракрасный безинерционный нагреватель
Традиционное отопление	А) тепловые насосы Б) солнечные коллектора
Кожухотрубчатый теплообменник	Пластинчатый теплообменник
Конденсатоотводчики	Конденсатоотводчики
Реактор с выносным теплообменником	Реактор с внутренним теплообменником

Замена традиционной техники на энергосберегающую в XXI веке является «велеием времени» и поощряется действием законов РФ «об энергосбережении» (1996) и "об энергоэффективности" (2009).

Список литературы

1. ФЗ «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности», (№261-ФЗ), 2009 г.
2. Лобанов Н.Ф. "Теоретические основы энерго-ресурсосбережения в химической промышленности" ГОУ ВПО РХТУ им. Д.И. Менделеева, Новомосковский институт (филиал), 2007г., 56 с.
3. Ставцев В.А. , Бабокин Г.И. "Технические средства и методы энергосбережения. Энергоаудит предприятий", Тула, График, 2003г. 330 с.
4. Малахов Н.Н., Горбачев Н.Б. "Рекомендации по рациональному использованию энергоресурсов на предприятиях агропромышленного комплекса" изд. Орловского государственного технического университета, Орел, 2002г., 30 с.
5. Малахов Н.Н., Плаксин Ю.М., Ларин В.А. "Процессы и аппараты пищевых производств", ОрелГТУ, г.Орел: 2001. - 687 с.
6. "Повышение эффективности использования энергии в промышленности Дании", М.: Российско-Датский институт энергосбережения (РДИЕЕ), 2001. - 242 с.
7. "Энергосбережение. Теория и практика. Труды Первой всероссийской школы- семинара", М.: МЭИ., 2002. - 274 с.
8. Варнавский Б.П., Колесников А.И., Федоров М.Н. "Энергоаудит объектов коммунального хозяйства и промышленных предприятий. Учебное пособие", изд. МИКХиС, Москва, 1998. - 108 с.
9. Бабокин Г.И., Ляхомский А.В., Ставцев В.А. «Энергосбережение в промышленности и жилищно – коммунальном хозяйстве». М. РХТУ им.Д.И. Менделеева, 2010.-233 с.
10. Фокин В.М. «Основы энергосбережения и энергоаудита». М. Издательство «Машиностроение – 1», 2006 г.-254 с. (аудит).
11. Комиссаров Ю.А., Гордеев И.С., Вент Д.П. «Процессы и аппараты химической технологии», учебное пособие для ВУЗов, М. «Химия», 2011-1230 с.
12. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. Учебное пособие 11-е изд., стереотипн. –М.:2004-576с.

Приложение 1

Расчетное задание №1 (ЭиРСТ)

Определение общих теплопотерь отапливаемого помещения.

1. Постановка задачи

Имеется прямоугольное помещение на 1 – ом этаже многоэтажного здания, выходящего на улицу двумя сторонами. Стены помещения состоят из кирпича с бетонным раствором и оборудованы окнами с остеклением ($\delta=4\text{мм}$) и рамами толщиной 50мм, и имеющими площадь около 20% от площади оконного проема (расстояние между стеклами – 15см).

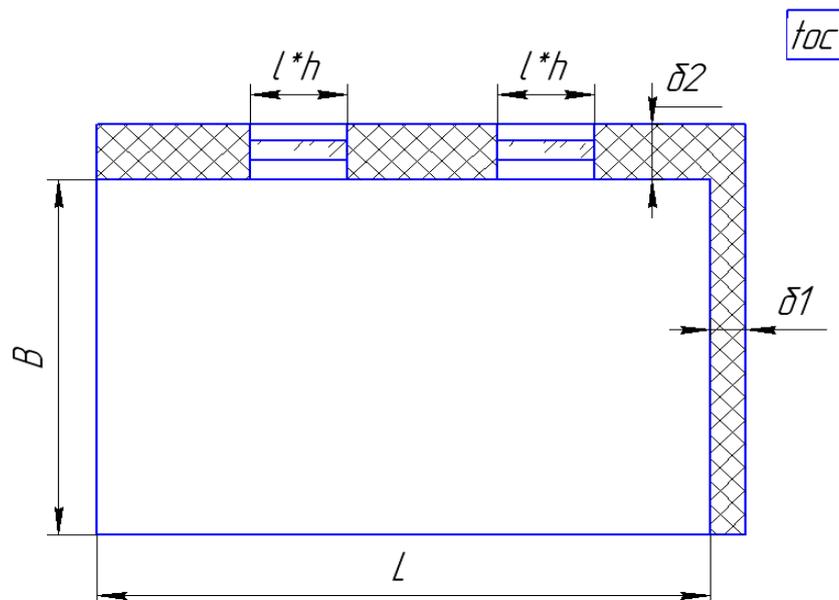
Пол состоит из досок толщиной 60мм, покрытых линолеумом ($\delta=4\text{мм}$). Под полом расположен неотапливаемый, но герметизированный со стороны улицы подвал.

2. Необходимо определить (при заданных размерах и погодных условий улицы).

1. Теплопотери через индивидуальные внешние ограждения (Q_i).
2. Общие теплопотери (Q_{Σ}) помещения (в единицах мощности).
3. Самые неэффективные ограждения (по критериям мощности и плотности теплопотерь), требующие усиления.
4. Сокращение теплопотерь (ΔQ_i), при утеплении “слабого” ограждения теплоизоляционным материалом толщиной 50мм.

3. Исходные данные:

3А. План помещения



Размеры помещения и стен

Таблица 1

	В, м	L, м	l, м	h, м	δ_1 , см	δ_2 , см	Кол-во окон	Высота, м
Вар1	4	10	1	1,8	60	54	3	3,8
Вар2	6	12	1,2	2,0	52	58	2	3,6
Вар3	5	10	1,4	2,2	54	60	4	4,0
Вар4	6	8	1,6	2,0	58	72	3	3,7
Вар5	8	12	1,8	1,8	72	58	4	4,1
Вар6	10	6	2	3,0	58	70	2	3,5
Вар7	4	8	1,6	2,2	70	55	3	3,8
Вар8	12	6	1,8	2,4	66	72	1	3,4
Вар9	5	14	1,5	2,0	70	50	4	3,3

3Б. Температура наружного воздуха (январь)

Табл. 2

Ва	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	И	К	Л
t_{oc}^{min}	-4	-20	-16	-24	-17	-32	-26	-18	-6	-28
t_{oc}^{max}	0	-10	-6	-12	-10	-26	-12	-6	+2	-16

Температура внутри помещения - 20°C

3В. Теплопроводность материалов [$\lambda, \frac{Вт}{м \cdot ^\circ C}$]

Табл.3

	Материал	λ	Примечание
1	Кирпичная кладка	0,699 – 0,814	
2	Бетон	1,28	
3	Дерево (поперек волокон)	0,140 – 0,174	
4	Дерево (вдоль волокон)	0,384	
5	Стекло	0,7 – 0,8	
6	Воздух	0,033	
7	Пенопласт	0,0447 – 0,055	
8	Стекловата	0,035 – 0,070	
9	Накипь	1,16 – 3,49	
10	Текстолит	0,244	Аналог

4. Принятые упрощения

- 4.1 Теплопередача через ограждения происходит в стационарном режиме.
- 4.2 Тепловой поток через стенку – одномерный (в направлении перпендикулярном к ограждению).
- 4.3 Оконные конструкции в первом приближение считать герметичными. Щели будем учитывать через коэффициент фильтрации (K_ϕ), (Смотреть задание №2).

4.4 Ограждения граница с коридором и соседним помещением считать изотермичными ($\Delta t=0$).

4.5 Для теплотерь через пол установить понижающий коэффициент, как для тамбура ($\sim 0,6$).

4.6 Конвективными составляющими коэффициента теплопередачи можно пренебречь.

5. Порядок выполнения задания

5.1 Определить поверхности внешних ограждений:

а) Стены с δ_1 (F_1)

б) Стены с δ_2 (F_2)

в) Окно с разделением на две части:

- стекло – воздух стекло (F_c)

- дерево – воздух дерево (F_g)

г) пол (F_3)

5.2 Рассчитать коэффициенты теплопередачи

$$K_i = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

где: α_1, α_2 – коэффициенты теплопередачи стороны помещения и улицы соответственно.

δ_i – толщина монослоя ограждения, м

λ_i – теплопроводность материала, $\frac{вт}{м \cdot ^\circ C}$

5.3 Рассчитать мощность тепловых потоков:

$$Q_i = k_i \cdot F_i \cdot (20 - t_{oc}) \cdot 10^{-3}, \text{квт}$$

5.4 Найти суммарную мощность теплотерь:

$$Q_\Sigma = Q_i$$

5.5 Представить результаты расчетов в виде табл.4

Табл.4

Ограждение	Q	$g_i = \frac{Q_i}{F_i}$	Примечание
Стена (F_1)	Q_1		
Стена (F_2)	Q_2		
Окно ($F_c + F_g$)	$(Q_c + Q_g)$		
Пол (F_3)	Q_3		
Все помещение	Q_Σ	-	

5.6 Вывод о возможности утепления самого слабого ограждения:

5.7 Оценка сокращения мощности теплотерь после утепления стандартной теплоизоляцией:

$$Q_i^* = k^* \cdot F_i \cdot (20 - t_{oc})$$

где $k^* = \frac{1}{\sum \frac{\delta_i}{\chi_i} + \frac{\delta_{уз}}{\chi_{уз}}}$

5.8 Сравнение эффекта от утепления:

$$Q_{\Sigma} = Q_{\Sigma}^*$$

Расчетное задание №2

“Оценка достаточности существующей системы отопления с учетом фильтрации воздуха”.

1. Исходные данные (из результатов задания №1)

а) Q_{Σ}

б) Q_{Σ}^*

в) $V_{пом} = B \cdot L \cdot H, м$

г) $\rho_{возд}(20^{\circ}C) = 1,21, \frac{кг}{м^3}$

д) $C_p = 1,04, \frac{кДж}{кг}$

2. Коэффициенты фильтрации ($K_{\phi} = \frac{G \left[\frac{м^3}{час} \right]}{V \left[м^3 \right]}$)

Табл. 1

Вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
K_{ϕ}	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,25	0,45	0,55	0,65	0,75

3 Расчет дополнительных энергозатрат (Q_{ϕ}), фильтруемого воздуха (G_{ϕ}):

$$G_{\phi} = K_{\phi} \cdot V$$

$$3.1 \quad \rho_{возд} = 1,21 \cdot K_{\phi} \cdot V \left[\frac{кг}{час} \right]$$

$$Q_{\phi} = \frac{G_{\phi} \cdot C_p^{возд} \cdot (20 - t_{oc})}{3600} [кВт]$$

3.3 Общие затраты энергии:

а) до утепления: $Q_{общ} = Q_{\Sigma} + Q_{\phi}$

б) после утепления: $Q_{общ}^* = Q_{\Sigma}^* + Q_{\phi}$

4. Расчет прихода тепла от батареи ($Q_{бат}$) при графике отопления (90-70)°С.

4.1 Определение площади нагревательной системы (трубы плюс секции) по вариантам (табл. 2).

Табл. 2

Вар	Трубы (мм × м)	Кол – во секций	$F_{труб}, м^2$	$F_{бат}, м^2$	$F_{\Sigma}, м^2$
А	$\emptyset 25 \times 2 \cdot L$	40			
Б	$\emptyset 40 \times 3 \cdot B$	30			

В	$\varnothing 20 \times 2 \cdot L$	36			
Г	$\varnothing 36 \times 4 \cdot B$	28			
Д	$\varnothing 25 \times 5 \cdot B$	30			

Справка площадь одной секции – 0,2м²

4.2 Расчет теплоподвода от системы отопления:

$$Q_{\text{бат}} = g_{\text{бат}} \cdot F_{\Sigma}$$

где $g_{\text{бат}} = 0,4 \frac{\text{кВт}}{\text{м}^2}$

5. Оценка достаточности системы отопления по критерию:

$$\beta = \frac{Q_{\text{общ}}}{Q_{\text{бат}}} \leq 1$$

а) Если $\beta < 1$, то достаточно установить регулирующие вентили для уменьшения расхода греющей воды.

б) Если $\beta = 1$, то идеальный режим отопления ($t=20^\circ\text{C}$) будет реализован.

в) Если $\beta > 1$, то необходимо привести ситуацию к ситуации $\beta \leq 1$ следующими действиями:

Во – первых, перейти к ситуации с дополнительным утеплением ($Q_{\text{общ}}^*$).

Во – вторых при $\beta^* < 1$ оценить эффект от герметизации окон ($K_{\phi} \rightarrow 0$, тогда $Q_{\phi} \Rightarrow 0$)

$$Q_{\Sigma}^{**} = Q_{\Sigma}^* - Q_{\phi}$$

$$\beta^{**} = \frac{Q_{\Sigma}^{**}}{Q_{\text{бат}}}$$

В – третьих, при $\beta^{**} < 1$, определить добавку подводе тепла от увеличения кол- ва секций батарей ($\Delta n_{\text{секц}}$).

$$\Delta Q_{\text{бат}} = Q^{**} - Q_{\text{бат}} \left[\text{кВт} \right]$$

$$\Delta F_{\text{бат}} = \frac{\Delta Q_{\text{бат}}}{0,4} \left[\text{м}^2 \right]$$

$$\Delta n_{\text{секц}} = \frac{\Delta F}{0,2} \left[- \right]$$

6. Сделать выводы и проанализировать полученные результаты.

Приложение 2

Контрольная работа №1

Контрольная работа № 1 состоит из трех заданий. Каждый студент выполняет вариант контрольных заданий, обозначенный двумя цифрами номера зачетной книжки (шифра). По первой цифре выбирается вариант первого задания, по второй цифре вариант второго и третьего заданий.

Задание № 1

1. Приведите и дайте описание схемы однопоточного производства и распределения пара в производстве аммиака мощностью 1360 т/сутки.
2. Приведите и дайте описание схемы двухпоточного производства и распределения пара в производстве аммиака мощностью 1360 т/сутки,
3. Дайте описание принципов конструирования аппаратов для утилизации высокопотенциального и низкопотенциального тепла.
5. Дайте описание определения геометрических размеров аппаратов и оценки гидродинамических параметров.
6. Приведите эскиз и описание работы поршневой рекуперационной машины установки медноаммиачной очистки в производстве аммиака.
7. Приведите эскиз и описание работы трубчатой печи конверсии природного газа в производстве аммиака.
8. Приведите эскиз и описание работы контактного аппарата и котла-утилизатора в производстве азотной кислоты»
9. Приведите эскиз и описание работы водотрубного котла-утилизатора первой ступени в производстве аммиака.
10. Дайте описание установки для сжигания сточных вод.

Литература

1. Справочник азотчика. М., "Химия", 1986 г., 512 с.
2. Орлов П.И. Основы конструирования. Справочно-методическое пособие. Книга 1 М., "Машиностроение", 1988 г., 560 с.
3. Кафаров В.В., Ветехин В.Н. Основы автоматизированного проектирования химических производств. М. "Наука", 1987 г., 624 с.
4. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. Л. "Химия", 1976 г., 552 с.
5. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. М., "Химия", 1973 г., 752 с.
6. Андреев Ф.А. и др. Технология связанного азота, М., "Химия", 1974 г., 464 с.
7. Кафаров В.В. Принципы создания безотходных химических производств. М., "Химия", 1982 г., 288 с.

Задание № 2

Определить минимальную толщину теплоизоляции и теплоприток через изоляцию к хладагенту от наружного воздуха для трубопровода холодильной машины.

Температура атмосферного воздуха в помещении цеха $t_n = 30 \text{ }^\circ\text{C}$, влажность воздуха $\phi_n = 70 \text{ \%}$. Изоляция трубопровода выполнена из стандартных элементов из полистирольного пенопласта. Теплопроводность пенополистирола = $0,04 \text{ Вт/м К}$.

Данные для расчета приведены в таблице 2

Таблица 2.

Показатели	Варианты								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Температура окружающей среды, $t_{в}, \text{ }^\circ\text{C}$	25	24	23	22	21	20	19	18	17
Температура стенки аппарата, $t_{ст 1}, \text{ }^\circ\text{C}$	100	105	110	115	120	125	130	135	140
Температура стенки изоляции со стороны окружающей среды, $t_{ст 2}, \text{ }^\circ\text{C}$	35	36	37	38	39	40	41	42	43
Высота аппарата, Н, м	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	2.0	2.5	3.0	3.5
Диаметр аппарата, м	1	2	3	3.5	4	4	3	2	1.5
Материал изоляции	совелит	Изоляц. кирпич	совелит	Изоляц. кирпич	совелит	Изоляц. кирпич	совелит	Изоляц. кирпич	совелит

Задание № 3

Определить минимальную толщину теплоизоляции и теплоприток через изоляцию к хладагенту от наружного воздуха для трубопровода холодильной машины.

Температура атмосферного воздуха в помещении цеха $t_n = 30 \text{ }^\circ\text{C}$, влажность воздуха $\phi_n = 70 \text{ \%}$. Изоляция трубопровода выполнена из стандартных элементов из полистирольного пенопласта. Теплопроводность пенополистирола = $0,04 \text{ Вт/м К}$.

Данные для расчета приведены в таблице 3.

Таблица 3.

ПОКАЗАТЕЛИ	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Диаметр трубопровода, D_n , мм	133	140	159	168	194	245	273	325	377	426
Температура паров аммиака, t_a , $^\circ\text{C}$	-19	-20	-21	-22	-23	-25	-26	-27	-28	-29

Введение	2
1. Основы энергоаудита	3
1.1 Законодательные основы энергосбережения	3
1.2 Особенности тарифов на энергоресурсы	3
1.3 Энергоаудит промышленных предприятий	5
1.4 Методика проведения энергоаудита	6
1.5 Содержание первого этапа энергоаудита	6
1.6 Особенности тарифов на электроэнергию	8
1.7 Содержание второго этапа энергоаудита	8
1.8 Критическая оценка адекватности и точности системы измерения	11
1.9 Третий этап энергоаудита: критический анализ результатов обследования	14
1.10 Четвёртый этап энергоаудита: составление энергосберегающих проектов	17
1.11 Пятый этап энергоаудита: экспертиза проектов	19
2. Приёмы экономии тепловой энергии	20
2.1 Общие положения	20
2.2 Источники энергии, используемые при отоплении	24
2.3 Эксплуатационные методы энергосбережения для котлов и теплообменников	24
3. Приёмы сокращения затрат электроэнергии	28
3.1 В нагревательных печах	28
3.2 Освещение	29
3.3 В аппаратуре, использующей электропривод	30
3.4 Экономия электроэнергии в насосных системах	32
3.5 Экономия электроэнергии в вентиляционных системах	35
3.6 Экономия электроэнергии в компрессионном хозяйстве	39
3.7 Особенности экономии электроэнергии в компрессионных установках холодильной техники	42
4. Специальное оборудование энергосбережения	43
Список литературы	44
Приложение 1(расчётные задания)	45
Приложение 2 (задание для заочников)	50
Содержание	53

