

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
СУМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

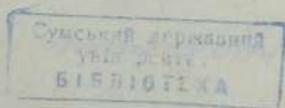
по курсу «ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ»

для студентов специальностей

6.090202 "Гидравлические и пневматические машины,
гидропривод и гидропневмоавтоматика"

и 6.090220 "Оборудование химических производств
и предприятий строительных материалов"
заочной формы обучения

Утверждено
редакционно-издательским сове-
том университета.
Протокол № 1 от 05.01.2001 г.



Сумы Изд-во СумГУ 2001

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	5
1 Введение	6
1.1 Предмет и задачи курса. Принципы энергосбережения	6
1.2 Три концепции энергосбережения	7
1.3 Работа по энергосбережению в Украине	7
2 Энергоаудит	8
2.1 Общие сведения об энергоаудите	8
2.2 Стадии и этапы проведения энергоаудита	9
2.3 Структура отчета по энергоаудиту	10
3 Энергоменеджмент	12
3.1 Общие сведения об энергоменеджменте	12
3.2 Этапы внедрения энергоменеджмента	12
3.3 Порядок анализа энергопотерь в производственных системах	13
4 Энергоконсалтинг	14
4.1 Общие сведения об энергоконсалтинге	14
4.2 Энергоконсалтинг и реализация планов энергосбережения	15
4.3 Энергоконсалтинговые направления	17
5 Энергомониторинг	17
5.1 Общие сведения об энергомониторинге	17
5.2 Целевой энергомониторинг (ЦЭМ)	18
5.3 Этапы внедрения целевого энергомониторинга	19
6 Энергетическая оценка местных сопротивлений и насадков	20
6.1 Способы энергетической оценки местных сопротивлений и насадков	20
6.2 Энергетическая оценка местных сопротивлений	21
6.3 Энергетическая оценка насадков	23
7 Энергетически наивыгоднейший диаметр трубопровода	24
7.1 Понятие энергетически наивыгоднейшего диаметра трубопровода	24
7.2 Аналитическое определение энергетически наивыгоднейшего диаметра	25
7.3 Графическое определение энергетически наивыгоднейшего диаметра	27
8 Снижение энергопотерь подавлением турбулентности потока	28
8.1 Снижение энергопотерь добавкой полимеров в жидкость	28
8.2 Снижение энергопотерь добавкой твердых частиц в газ	29
8.3 Объяснение сущности эффекта Томса	31
9 Энергосбережение за счет устранения утечек жидкости	31
9.1 Утечки в центробежных насосах	31

9.2 Утечки в наружных сетях водоснабжения	32
9.3 Утечки в бытовых санитарно-технических приборах	34
10 Зависимость энергопотерь от срока эксплуатации трубопровода	35
10.1 Увеличение энергопотерь в водопроводах при эксплуатации	35
10.2 Увеличение энергопотерь в воздухопроводах при эксплуатации	36
10.3 Снижение пропускной способности нефтепроводов при эксплуатации	37
Список литературы	38

Предисловие

Курс «Энергосбережение» является одним из актуальных в системе инженерной подготовки. Мировые энергетические кризисы семидесятых годов XX столетия вывели вопросы энергосбережения на передний край борьбы за технический и социальный прогресс.

Первыми откликнулись на требование времени страны промышленно развитые, но бедные собственными энергоресурсами, – Германия, Великобритания, Дания и другие страны Евросоюза. К ним примкнули страны, связанные экономическими узами международного разделения труда.

Одна за другой выдвигались различные концепции энергосбережения в средствах массовой информации. Организовывались курсы подготовки специалистов в области энергосбережения и энергоэффективности. В крупнейших университетах стран Западной Европы началась подготовка энергоменеджеров. Были заложены основы энергоаудита и энергомониторинга, возникли энергоконсалтинговые фирмы.

В результате этих усилий произошли реальные сдвиги в сфере энергопотребления. В странах Евросоюза примерно на треть сократилось энергопотребление на единицу выпускаемой продукции. Намечались позитивные сдвиги и в Украине.

Надеемся, что данный курс даст студенту-заочнику необходимый минимум знаний и поможет разобраться в более серьезных вопросах, связанных с энергосбережением.

1 ВВЕДЕНИЕ

1.1 Предмет и задачи курса. Принципы энергосбережения

Предметом курса является энергосбережение в гидравлических и пневматических системах.

Задачей курса является изучение основ энергосбережения в гидравлических и пневматических системах и практическое освоение методов расчета энергопотерь в гидравлических и пневматических машинах, агрегатах, коммуникациях и приводах.

Получение энергосберегающего эффекта в гидравлических и пневматических системах обеспечивает:

- 1 Работа гидравлических и пневматических систем в оптимальном режиме, когда рабочая точка находится в области максимального КПД.
- 2 Использование гидравлических и пневматических машин, агрегатов и приводов наиболее совершенных конструкций, обеспечивающих максимальный КПД.
- 3 Использование трубопроводов и материалов с минимально возможной шероховатостью, обеспечивающих минимальные потери энергии.
- 4 Использование только герметичных трубопроводов, не допускающих утечек перекачиваемой среды.
- 5 Поддержание трубопроводов в оптимальном рабочем состоянии путем периодической очистки внутренней поверхности от твердых отложений.
- 6 Использование специальных добавок, вводимых в перекачиваемую среду, подавляющих турбулентность.
- 7 Использование сил атмосферного давления и гравитации как альтернативных источников энергии для перемещения жидкостей, суспензий и сыпучих материалов.
- 8 Использование обратимых гидромашин, турбонасосных агрегатов и т.д.
- 9 Использование конструктивных элементов трубопроводов с минимальными коэффициентами местного сопротивления.
- 10 Использование геотермальных вод для горячего водоснабжения.
- 11 Использование морских волн как альтернативного источника энергии.
- 12 Использование ветра как альтернативного источника энергии.

1.2 Три концепции энергосбережения

Энергетический кризис семидесятых годов XX века способствовал активизации работ в области энергосбережения. В результате этих работ возникли последовательно несколько концепций энергосбережения и повышения энергоэффективности.

Первой концепцией энергосбережения была DSM (Demand Side Management), возникшая в США в середине семидесятых годов XX века. В вольном переводе это звучит как «управление с точки зрения обеспечения только необходимых потребностей». Термин DSM понимали как синоним понятий «экономия энергии» или как «управление нагрузкой».

Вслед за DSM появилась следующая концепция энергосбережения LCP (Least Cost Planning), что в переводе означает «Планирование минимальных затрат». Концепция LCP подразумевала обязательное включение оптимизации энергопотребления в определение стоимости продукта и производственных затрат.

В результате попыток устранения некоторых недостатков предыдущих концепций возникла концепция IRP (Integrated Resources Planning), что можно перевести как «комплексное планирование ресурсов». Сущность концепции IRP заключается в сравнительной оценке затрат на организацию мероприятий по энергосбережению и затрат на строительство эквивалентных по мощности энергогенерирующих установок. В результате сравнения выбирается вариант с меньшими затратами.

Общей чертой перечисленных концепций является то, что и производители энергии, и ее потребители связаны общими интересами в отношении экономии энергии и повышения эффективности использования энергии. Концепции DSM, LCP и IRP были с успехом использованы в странах с развитой рыночной экономикой и показали свою эффективность. Опасения некоторых экономистов, что стремление ограничить энергопотребление необходимым минимумом, заложенное в концепциях энергосбережения, несовместимы с рыночной экономикой, оказались несостоятельны.

1.3 Работа по энергосбережению в Украине

Полезность энергосбережения ни у кого не вызывает сомнения. Однако на пути реализации мероприятий по энергосбережению и повышению энергоэффективности возникает немало препятствий как объективных, так и субъективных. К объективным препятствиям можно отнести отсутствие средств, а к субъективным – менталитет населения, специалистов, руководителей.

Как субъективные, так и объективные препятствия могут быть устранены путем оказания материальной помощи в виде кредитов, ноу-хау, просветительской деятельности со стороны развитых стран. Такой деятельностью в Украине в 1993 году занялся Европейский Союз, организовавший в Киеве Энергетический Центр (ЭЦ) в рамках программы помощи странам СНГ (TACIS). Деятельность Энергетического Центра заключается в следующем:

- 1 Организация консультационного Совета при ЭЦ ЕС в Киеве.
- 2 Организация пропаганды идей энергосбережения.
- 3 Исследование возможностей местной промышленности.
- 4 Обучение методам учета энергопотребления.
- 5 Семинары по энергосбережению для архитекторов.
- 6 Семинары по энергосбережению для администраторов.
- 7 Подготовка энергоаудиторов для предприятий.
- 8 Практика проведения энергоаудита на предприятии.
- 9 Энергосбережение в жилых и производственных зданиях.
- 10 Энергосбережение на транспорте.
- 11 Энергосбережение при эксплуатации централизованных систем теплоснабжения.
- 12 Энергосбережение при совместном производстве тепла и электроэнергии на теплоэлектростанциях.

С 01.07.1994 г. в Украине действует "Закон об энергосбережении". В соответствии с этим законом осуществляется государственное управление в сфере энергосбережения через Кабинет Министров Украины, который определяет порядок и условия разработки государственных программ энергосбережения на общегосударственном, региональном и местном уровнях.

2 ЭНЕРГОАУДИТ

2.1 Общие сведения об энергоаудите

Энергоаудит – это процесс обследования предприятия с точки зрения энергопотребления.

Энергоаудит должен проводиться независимыми экспертами, так называемыми энергоаудиторами.

Энергоаудитор – это специалист, как правило, приглашаемый со стороны, с целью обследования данного предприятия на предмет энергопотребления и выработки предложений по сокращению энергопотребления и оптимизации его структуры в качественном и количественном отношении.

Энергоаудит – это сложный процесс, требующий не только обязательного знания обследуемого производства, но также глубоких познаний в области энергетики, экономики, экологии, законодательства, специальной подготовки в области энергосбережения, общей эрудиции.

К энергоаудитору предъявляют высокие профессиональные и квалификационные требования:

- 1) высшее образование в области энергетики;
- 2) специальная подготовка в области энергоаудита;
- 3) производственный опыт (обычно не менее 5 лет);
- 4) широкий инженерно-технический кругозор;
- 5) способность убеждать других в важности энергосбережения;
- 6) способность сотрудничать с персоналом предприятия;
- 7) способность руководить проектом по энергосбережению;
- 8) способность составить отчет о проведении энергоаудита.

Основная деятельность энергоаудитора – это составление карты энергопотребления обследуемого предприятия, выявление объектов возможного энергосбережения (цеха, участка, технического процесса, производственного помещения); составление программы первоочередных мероприятий по энергосбережению, оценка сроков окупаемости мероприятий по энергосбережению, составление отчета о проведении энергоаудита.

2.2 Стадии и этапы проведения энергоаудита

Проведение энергоаудита процесс достаточно трудный и длительный. На его проведение необходимы временные и денежные затраты. Результативность энергоаудита зависит от организационного уровня проведения. Обычно энергоаудит состоит из трех стадий.

Первая стадия – ознакомительная, включает четыре этапа:

- 1) знакомство с характером производства;
- 2) описание предприятия;
- 3) выявление основных производственных показателей;
- 4) обзор потоков энергии на предприятии.

Вторая стадия – основная, включает в себя следующие этапы:

- 5) определение энергопотребления путем измерений и вычислений;
- 6) составление карты энергопотребления;
- 7) анализ баланса энергопотребления;
- 8) разработка предложений по энергосбережению и энергоэффективности.

Третья стадия – заключительная, характеризующая итоги работы энергоаудитора и практические шаги в реализации идей энергосбе-

режения и повышения энергоэффективности на данном предприятии. В эту стадию входят следующие этапы:

- 9) помощь предприятию в разработке мероприятий по энергосбережению;
- 10) помощь предприятию во внедрении энергоменеджмента;
- 11) помощь предприятию в оптимизации эксплуатации и обслуживания оборудования;
- 12) помощь предприятию в организации закупок энергоэффективного оборудования.

Схематически описанную последовательность проведения энергоаудита можно представить в виде циклического алгоритма (рисунок 2.1). Это значит, что энергоаудит может проводиться в виде интеграционного процесса, с каждым циклом повышая энергоэффективность данного производства.

Практика промышленно развитых стран показала эффективность такого подхода к проведению работ по энергосбережению.

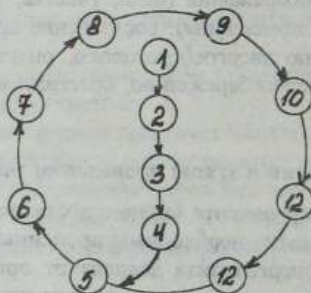


Рисунок 2.1 – Схема проведения энергоаудита

2.3 Структура отчета по энергоаудиту

Результаты проведения энергоаудита на предприятии фиксируются в виде документов: текстов, таблиц, графиков, схем, технических и экономических расчетов. Эти документы оформляются в виде технического отчета.

Отчет содержит:

- 1 Титульный лист.
- 2 Содержание.
- 3 Введение.

- 4 Аннотацию.
- 5 Описание предприятия.
- 6 Данные о энергопотреблении на предприятии.
- 7 Перечень объектов возможного энергосбережения.
- 8 Перечень программ возможного энергосбережения.
- 9 Предложения по внедрению (или совершенствованию) системы энергоменеджмента.
- 10 Выводы по итогам проведения энергоаудита.
- 11 Приложения.
- 12 Список использованной литературы.

В структуре отчета по энергоаудиту можно выделить три раздела: I раздел (пункты 1-4) – общие сведения об отчете; II раздел (пункты 5-8) – основные сведения; III раздел (пункты 9-12) – предложения, выводы и вспомогательные материалы.

Составляющие первого раздела являются общими для отчетов любого назначения. Во “Введении” приводится обоснование проведения энергоаудита на данном предприятии. Обязательно указывается, является ли проводимый аудит самостоятельным обследованием или частью другого, более обширного, кто финансирует проведение данного энергоаудита, кто проводит, кто ответственный, кто помогает со стороны предприятия, каковы сроки проведения, проводился ли энергоаудит ранее и имеются ли отчеты. В «Аннотации» кратко описывается проведенный энергоаудит, карта энергопотребления, программы энергосбережения.

Во втором разделе в «Описание предприятия» приводятся схемы отдельных производств на предприятии. Их энергопотребление приводится в отдельном разделе – «Энергопотребление на предприятии». В этом же блоке приводятся перечень объектов возможного энергосбережения и программы их реализации.

Во третьем разделе приводятся развернутые «Предложения по внедрению системы энергоменеджмента», «Выводы по итогам проведения энергоаудита» и перечень использованных вспомогательных материалов.

3 ЭНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТ

3.1 Общие сведения об энергоменеджменте

Энергоменеджмент можно рассматривать в двух аспектах. С одной стороны, энергоменеджмент - это система управления, основанная на проведении типовых измерений и проверок, обеспечивающая такую работу данного предприятия, при которой потребляется только совершенно необходимое количество энергии.

С другой стороны, энергоменеджмент - это инструмент управления предприятием, который обеспечивает постоянное отслеживание распределения потребления энергоресурсов в производственной и непроизводственной сферах. Производственная сфера энергопотребления связана с выпуском продукции на предприятии, непроизводственная сфера - это отопление, освещение предприятия, отпуск энергии (на сторону) другим потребителям.

Для успешного функционирования энергоменеджмента необходима качественная и количественная информация об энергопотреблении на данном предприятии. Поэтому, если энергоменеджмент внедряется впервые, необходимо провести энергоаудит.

Энергоменеджмент на предприятии осуществляет энергоменеджер, к которому предъявляются определенные профессионально-квалификационные требования:

- 1 Высшее образование в области энергетики.
- 2 Специальная подготовка в области энергоменеджмента.
- 3 Большой производственный опыт руководства предприятием.
- 4 Организаторские способности.
- 5 Способность убеждать людей.
- 6 Опыт руководства проектом по энергосбережению.

В сферу деятельности энергоменеджера входит:

- 1 Сбор и анализ данных по энергопотреблению.
- 2 Составление совместно с энергоаудитором карты энергопотребления на предприятии.
- 3 Составление плана установки счетчиков энергии.
- 4 Сбор данных о потоках сырья, топлива, энергии.
- 5 Составление и реализация мероприятий по энергосбережению.

3.2 Этапы внедрения энергоменеджмента

Энергоменеджмент, как и энергоаудит, реализуется поэтапно (рисунок 3.2).

Первый этап. Запуск системы энергоменеджмента. Перед запуском проводят всесторонний энергоаудит. В результате энергоаудита

получают достаточно реалистическое представление об энергопотреблении на данном предприятии.

Второй этап. Сопоставление реальных данных по энергопотреблению с нормативными, литературными, общепринятыми на ведущих предприятиях отрасли и т.д.

Третий этап. Анализ результатов сравнения реального энергопотребления с требуемым по нормативам. По результатам сравнительного анализа устанавливают приоритетные направления в области энергосбережения.

Четвертый этап. Планирование мероприятий по энергосбережению. На этом этапе составляется план мероприятий по энергосбережению и определяются расходы по их реализации, источники финансирования мероприятий.

Пятый этап. Внедрение запланированных мероприятий по энергосбережению. На этом этапе осуществляется контроль за реализацией мероприятий по энергосбережению с помощью сотрудников группы энергоменеджмента, которой руководит энергоменеджер предприятия.

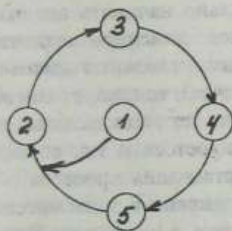


Рисунок 3.1 – Схема внедрения энергоменеджмента

Внедрение энергоменеджмента на предприятии в соответствии с вышперечисленными этапами можно представить в виде циклического алгоритма (рисунок 3.1), где цифрами указаны этапы внедрения. Поскольку процесс совершенствования энергопотребления непрерывный, то после каждого энергоаудита на основе полученных результатов сравнительного анализа проводят новый цикл внедрения энергоменеджмента на более высоком уровне.

3.3 Порядок анализа потерь энергии в производственных системах

Функционирующая производственная система осуществляет передачу энергии от источника (компрессора, насоса, агрегата и т.д.) через передающую систему (трубопровод, редуктор, ременную или цепную передачу, кабель и т.д.) к потребителю (технологической машине, аппарату, станку и т.д.). Таким образом, производственная система независимо от ее назначения имеет три составляющих: источник энергии, трансмиссию, потребителя энергии.

На рисунке 3.3 показана связь этих составляющих между собой. Характерной особенностью всех производственных систем являются неизбежные потери энергии во всех составляющих.

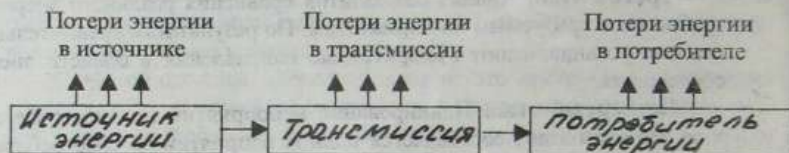


Рисунок 3.2 – Потери энергии в производственных системах

Однако при внедрении энергоменеджмента на этапе анализа результата энергопотерь в производственных системах необходимо дифференцированно подходить к потерям в источнике, трансмиссии и потребителе энергии. Наиболее рационально начинать анализ потерь с потребителя энергии. Наилучший подход – заменить энергетически неэффективного потребителя. Если это невозможно по каким-либо причинам (финансовым, техническим и прочее), то следует снизить до минимума потери энергии в потребителе за счет рационализации технологического процесса, устранения пауз, простоев и т.д. во включенном состоянии, а также за счет усовершенствования процесса обслуживания. Затем сводят к минимуму потери энергии в трансмиссии. Только после этого переходят к устранению потерь в источнике. Конечно, возможны исключения из этого правила в зависимости от особенностей конкретной производственной системы.

4 ЭНЕРГОКОНСАЛТИНГ

4.1 Общие сведения об энергоконсалтинге

Энергоконсалтинг – это система консультаций в области рационального использования энергии на всех этапах: производства, преобразования, распределения и использования.

Энергоконсалтинг реализуют энергоконсультанты, работающие в энергоконсалтинговых компаниях.

Энергоконсультанты, как правило, инженеры, имеющие специальную подготовку и опыт работы.

К энергоконсультантам предъявляются высокие профессиональные и квалификационные требования:

- 1 Высшее образование, близкое к профилю работы.
- 2 Опыт практической работы (не менее пяти лет) по избранному направлению.
- 3 Способность убеждать людей (персонал предприятия, руководство, энергоменеджера).
- 4 Способность быстро вникнуть в суть проблемы и предложить эффективное решение при минимальных затратах средств.

Энергоконсультанты работают по следующим направлениям:

- 1 Энергосбережение в существующих жилых, административных и производственных зданиях.
- 2 Модернизация тепловых пунктов и систем централизованного теплоснабжения.
- 3 Экономия электроэнергии в общественных зданиях.
- 4 Управление системами подачи воды, тепла и электроэнергии в жилых, административных и производственных помещениях.

К услугам энергоконсультантов и в целом энергоконсалтинговых компаний могут прибегать как отдельные владельцы квартир, домов, гаражей, так и руководители предприятий, фирм и даже государств.

Услугами энергоконсультантов могут пользоваться энергоаудиторы, энергоменеджеры при возникновении нетривиальных ситуаций, требующих быстрого решения проблемы наиболее эффективным, нестандартным способом. Поэтому энергоконсультант должен обладать широким кругозором.

4.2 Энергоконсалтинг и реализация планов энергосбережения

Энергоконсультантов обычно привлекают и к работе по составлению плана мероприятий по энергосбережению. Первой основой планов мероприятий по энергосбережению является Закон Украины об энергосбережении. Технико-экономической основой мероприятий по энергосбережению является анализ результатов энергоаудита предприятия.

План мероприятий по энергосбережению делится на две части. Первая часть – перечень целей, которые необходимо достичь; вторая часть – перечень мероприятий, которые необходимо осуществить для достижения поставленных целей. Перед началом реализации плана мероприятий по энергосбережению обязательно проводят детальный анализ, в котором используются точные данные по энергопотреблению на данном предприятии, сроки окупаемости мероприятий при существующих

ющих тарифах на электроэнергию, стоимость сырья, материалов, энергоносителей, топлива и т.д. Решение о внедрении плана мероприятий по энергосбережению принимается группой энергоконсультантов, которые руководствуются единой методикой, обеспечивающей стандартный подход. Использование энергоконсультантов, имеющих широкий профессиональный кругозор и большой практический опыт, является надежной гарантией успеха внедряемых мероприятий по энергосбережению.

Часто у предприятий не хватает собственных средств для финансирования принятых мероприятий по энергосбережению. В этом случае необходимо привлекать инвесторов со стороны, а энергоконсультанты разъясняют инвесторам все тонкости мероприятий по энергосбережению, чтобы убедить их в выгоды вкладывания денег в планируемые мероприятия по энергосбережению. Таким образом, энергоконсультант выполняет роль советника.

4.3 Энергоконсалтинговые направления

Обычно энергоконсультанты сосредотачивают свою деятельность по определенным направлениям, так называемым «консалтинговым схемам», что позволяет более углубленно изучать конкретные проблемы энерго-сбережения.

Рассмотрим для примера деятельность существующих в Дании консалтинговых групп.

ВКО - консалтинговая группа, основанная в 1982 г. Деятельность этой группы направлена на владельцев и управдомов многоквартирных домов, административных зданий, торговых помещений, центров бытового обслуживания. Задача энергоконсультантов – убедить владельцев в необходимости и выгоды внедрения более совершенных систем отопления. В этом направлении работает около 800 энергоконсультантов, имеющих базовое образование инженеров-энергетиков.

ЕК - консалтинговая группа, основанная в 1977 г., занимается модернизацией инженерного оборудования зданий и теплоизоляцией коммуникаций, стен и крыш. Группа насчитывает до 2000 энергоконсультантов с базовым архитектурным образованием и специальной подготовкой в области энергосбережения.

ОР - консалтинговая группа, основанная в 1980 г. после энергетического кризиса 1979 г. Энергоконсультанты занимаются вопросами рационального использования нефтепродуктов для отопления односемейных домов. Группа эта - одна из наиболее многочисленных – около 5000 энергоконсультантов с высшим инженерным теплотехническим образованием.

ЕЛ - консалтинговая группа, основанная в 1987 г. для работы по оптимизации электропотребления. Насчитывает около 300 человек инженеров-электротехников.

ГАС - группа, основанная в 1987 г., занимается оптимизацией газопотребления в промышленности и строительстве. В группе работает примерно 150 инженеров-теплотехников.

Е - группа, основанная в 1993 г. для консультирования по вопросам энергопотребления.

5 ЭНЕРГОМОНИТОРИНГ

5.1 Общие сведения об энергомониторинге

Энергомониторинг – это система сбора, анализа и контроля данных по энергопотреблению.

Энергомониторинг может быть самостоятельной системой или частью системы энергоаудита.

В любом случае от полноты и качества собираемой и анализируемой информации по энергосбережению зависит успех внедрения энергоменеджмента.

Для нормального функционирования энергомониторинга как системы необходимо оптимальное количество и качество информации.

Избыток или недостаток информации по энергопотреблению недопустим.

При избытке информации затрудняется ее своевременный анализ и возрастают затраты на ее переработку.

При недостатке информации снижается ее достоверность.

Существует определенная процедура сбора информации, нарушать которую нельзя. Собирать информацию необходимо в фиксированные промежутки времени – дни, недели и часы. Например, на одной и той же технологической установке энергопотребление в понедельник в 10 часов утра может сильно отличаться от энергопотребления в пятницу, в 15 часов.

Частота замеров показаний энергоучетных приборов может сильно зависеть от характера технологического процесса. Например, для энергоинтенсивных процессов бывает необходимо сделать несколько замеров энергопотребления в течение суток, результаты просуммировать и разделить на количество замеров, т.е. принять среднесуточное энергопотребление.

5.2 Целевой энергомониторинг (ЦЭМ)

Целевой энергомониторинг – это система сбора, анализа и контроля данных по энергопотреблению в зависимости от количества выработанной продукции.

Целевой энергомониторинг (ЦЭМ) был разработан в Великобритании в 1980-1989 гг.

Желая улучшить систему энергосбережения в стране, британское министерство финансов выделило значительные суммы денег для проведения тщательного энергоаудита. Результаты этого дорогостоящего мероприятия были разочаровывающими. Полученный «моментальный снимок» энергопотребления не давал представления об эффективности использования энергоресурсов, так как было неясно, сколько энергии было затрачено на выработку единицы продукции.

Решено было выделить дополнительные средства на проведение «динамического» энергоаудита, который бы связал энергопотребление с объемом выпускаемой продукции. Так возник целевой энергомониторинг.

В процессе проведения ЦЭМ в Великобритании было установлено существование четырех видов зависимостей энергопотребления от объема выпущенной продукции (рисунок 4)

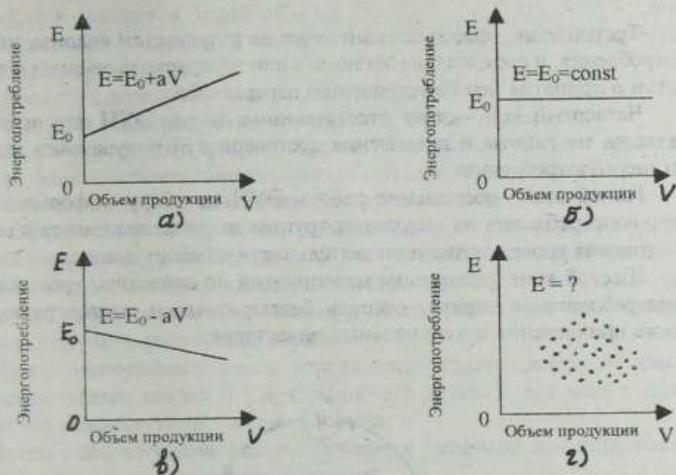


Рисунок 5.1 - Зависимость энергопотребления от объема выработанной продукции

5.3 Этапы внедрения целевого энергомониторинга

Целевой энергомониторинг, как и энергоаудит, и энергоменеджмент, внедряется или проводится поэтапно. Разница лишь в масштабах времени. Если цикл энергоменеджмента - несколько месяцев, энергоаудита - несколько недель, то цикл целевого мониторинга - всего несколько дней, чаще всего недельный цикл.

ЦЭМ тесно связан обычно с энергоаудитом и реализацией планов мероприятий по энергосбережению.

Внедрение ЦЭМ предусматривает следующие этапы:

Первый этап - сбор данных об энергопотреблении с помощью приборов, имеющихся в так называемых энергоучетных центрах (ЭУЦ), которые представляют собой один или несколько однотипных приборов учета, установленных у энергопотребляющего оборудования или в производственном помещении (цехе, участке).

Второй этап – определение целей для каждого ЭУЦ путем установления связей между энергопотреблением и объемом выпускаемой продукции. Обычно это уравнение регрессии вида $E = E_0 + aV$, где константы E_0 и a определяются на основе обработки полученной информации.

Третий этап – еженедельный отчет по результатам анализа энергопотребления, и определение экономии или перерасхода энергии и выработки и принятия мер по устранению перерасхода.

Четвертый этап – отчет ответственных лиц за ЭУЦ для проверки качества их работы и повышения достоверности получаемых данных по энергопотреблению.

Пятый этап – обсуждение работы ЭУЦ по сбору информации об энергопотреблении на заседаниях группы энергосупервизора с целью повышения уровня мотивации деятельности по сбору данных.

Шестой этап – реализация мероприятий по снижению уровня энергопотребления, в первую очередь беззатратных и малозатратных, а также привлечения потенциальных инвесторов.

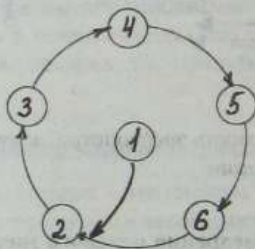


Рисунок 5.2 – Схема поэтапного внедрения энергомониторинга

6 ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА МЕСТНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ И НАСАДКОВ

6.1 Способы энергетической оценки местных сопротивлений и насадков

Насадки и местные сопротивления применяют как конструктивные элементы гидросистем в следующих случаях.

1 В гидро- и пневмоприводах металлорежущих станков, промышленных роботов, гидравлических прессов, прокатных станов, другого технологического оборудования.

2 В гидро- и пневмоприводах транспортных средств – автомобилей, тракторов, самолетов, кораблей и т.д.

3 В системах управления технологическим оборудованием и транспортными средствами.

4 В насосных агрегатах, установках, станциях.

5 В системах водоснабжения, охлаждения, смазки, полива.

6 В гидроэнергетике, водяных, паровых, воздушных, газовых турбинах.

7 В ручных и автоматизированных средствах пожаротушения.

8 В системах наддува, вентиляции, вакуумирования.

Эффект энергосбережения в таких системах можно получить разными способами, в том числе и за счет рационального выбора конструкции насадков и местных сопротивлений. Для этого необходимо располагать информацией об их энергетических характеристиках, которые можно получить следующим образом:

1 Путем экспериментального определения коэффициентов скорости, расхода, сжатия потока и т.д. Обычно это делается для новых конструкций элементов гидро- и пневмосистем.

2 Путем использования таблиц, формул и графиков для определения коэффициентов местных сопротивлений.

3 Путем расчета так называемых эквивалентных длин местных сопротивлений и сравнения этих длин между собой для различных конструкций.

4 Путем вычисления коэффициентов полезного действия насадков и местных сопротивлений как отношения полезно использованной энергии потока жидкости или газа ко всей подведенной энергии к потоку.

На практике применяют все перечисленные методы.

Энергетические характеристики местных сопротивлений, как правило, можно получить только экспериментально при натуральных испытаниях гидросистем.

6.2 Энергетическая оценка местных сопротивлений

В энергетических и других машинах используются различные конструктивные элементы, меняющие скорость или направление потока жидкости или газа. Эти элементы представляют собой местные сопротивления течению жидкостей или газов. Задача о движении турбулентного потока в местных сопротивлениях до сих пор практически не ре-

шена за исключением внезапного расширения или сужения потока. Поэтому в основном используют результаты экспериментальных исследований. При необходимости уменьшить габариты, а следовательно, радиусы кривизны поворотных колен часто прибегают к сильноизогнутым или даже прямоугольным и остроугольным коленам. В целях уменьшения значительно возрастающих при этом энергопотерь и улучшения однородности поля скоростей за коленом используются различные профилированные и непрофилированные направляющие лопатки, устанавливаемые на повороте. Опыты показали, что правильное размещение лопаток в коленях дает значительное снижение энергопотерь.

Таблица 6.1 – Местные сопротивления

Вид местного сопротивления	ξ (без лопаток)	$\xi_{л}$ (с лопатками)		$\frac{\xi - \xi_{л}}{\xi}$
	1,647	б	0,358	0,783
	2,705	б	0,560	0,793
	1,374	б	0,179	0,863
	0,996	б	0,216	0,783
	1,485	б	0,307	0,793
		а	0,405	0,727
	4,010	в	0,702	0,825
	4,250	в	0,653	0,846
	4,510	в	0,783	0,826

В таблице 6.1 даны результаты опытов с поворотом потоков на 90° и 180° при сохранении входных площадей поперечных сечений с лопатками на повороте и без них.

Схемы расположения лопаток показаны в конце таблицы. В последней графе указано понижение энергопотерь после установки лопаток.

6.3 Энергетическая оценка насадков

В гидро- и пневмосистемах насадки встречаются как элементы этих систем и как самостоятельные конструкции.

Независимо от назначения насадков им присущи общие свойства, важнейшее из которых – сжатие струи, обуславливающее потери энергии. Величина этого сжатия, определенная как отношение площади поперечного сечения струи в наиболее узком месте S_c к площади отверстия S , называется коэффициентом сжатия $\varepsilon = S_c / S$.

Численное значение коэффициента сжатия зависит прежде всего от формы сечения отверстия или насадка, места его расположения относительно стенок сосуда, из которого происходит истечение жидкости, режима истечения и т.д.

Теоретическая скорость истечения жидкости из отверстия в тонкой стенке или трубчатого насадка определяется по формуле Торичелли

$$V_T = \sqrt{2gH},$$

где g – ускорение силы тяжести;

H – напор жидкости над сжатым сечением.

Действительная скорость истечения $V = \varphi \sqrt{2gH}$, где φ – коэффициент скорости. Расход вытекающей жидкости $Q = S_c \cdot V = S_c \cdot \varphi \sqrt{2gH} = \mu S \cdot \sqrt{2gH}$.

Здесь $\mu = \varepsilon \cdot \varphi$ – коэффициент расхода.

Для характеристики потерь энергии при истечении через насадки пользуются понятием КПД насадка, определяемого как отношение удельной кинетической энергии струи к напору: $\eta = V^2 / 2gH = \varphi^2$ (смотри таблицу 6.2).

Таблица 6.2 – Энергетические характеристики насадков

Конструкция насадка	Коэффициент			
	сжатия ε	скорости φ	расхода μ	полезного действия η
1 Круглое отверстие в тонкой стенке	0,64	0,97	0,625	0,93
2 Внешний цилиндрический	1,0	0,82	0,82	0,67
3 Внутренний цилиндрический	1,0	0,71	0,71	0,50
4 Конический сходящийся	0,98	0,96	0,94	0,91
5 Коноидальный	1,0	0,98	0,98	0,96
6 Конический расходящийся	1,0	0,50	0,50	0,25

7 ЭНЕРГЕТИЧЕСКИ НАИВЫГОДНЕЙШИЙ ДИАМЕТР ТРУБОПРОВОДА

7.1 Понятие энергетически наиболее выгодного диаметра трубопровода

В народном хозяйстве используется большое количество трубопроводных систем. Часто стоимость таких систем составляет значительную часть общей стоимости оборудования, а на эксплуатацию трубопроводных систем затрачивается огромное количество энергии.

Трубопроводные системы используются на машиностроительных, металлургических, химических, нефтеперерабатывающих, пищевых предприятиях, для транспортировки нефти и газа на большие расстояния, а также в системах водоснабжения, канализации, орошения. Кроме того, трубопроводные системы имеют корабли, самолеты, ракеты, автомобили, тракторы и другая техника.

Независимо от назначения и области применения все трубопроводные системы имеют одну общую черту: перекачиваемая жидкость или газ перемещается благодаря разности давлений, поддерживаемой на требуемом уровне в начале и конце трубопровода. При этом и величина энергопотерь в трубопроводе зависит от его диаметра. Неудачным выбором диаметра трубопровода можно увеличить энергопотери, что приведет к необходимости увеличивать (и поддерживать) разность давлений на более высоком неоптимальном уровне.

Таким образом, возникает задача определения энергетически наиболее выгоднейшего диаметра трубопровода.

Очевидно, стоимость монтажа трубопровода будет тем меньше, чем меньше его диаметр. Однако при заданном расходе жидкости или газа с уменьшением диаметра будет увеличиваться стоимость его эксплуатации, так как при увеличении скорости жидкости или газа повышается расход энергии на их проталкивание по трубопроводу. Выбирая трубы большего диаметра можно уменьшить энергопотери, но увеличатся расходы по монтажу трубопровода. Имеем две противоположно действующие тенденции. Поэтому выбор энергетически наиболее выгоднейшего диаметра трубопровода имеет большое практическое значение. Таким образом, задача сводится к определению возможного наименьшего диаметра трубопровода как функции двух переменных, противоположно влияющих величин. Задача может быть решена аналитически и графически. Полученный при этом диаметр трубопровода и будет энергетически наиболее выгоднейшим.

7.2 Аналитическое определение энергетически наиболее выгоднейшего диаметра

Стоимость эксплуатации трубопровода складывается в основном из трех элементов:

- 1) стоимости амортизации C_A , грн./год;
- 2) стоимости текущего ремонта C_P , грн./год;
- 3) стоимости энергии, расходуемой на перемещение жидкости (газа) по трубопроводу $C_Э$, грн./год.

Общая стоимость эксплуатации трубопровода может быть определена из выражения $C = C_A + C_P + C_Э$ грн./год.

Расходы на амортизацию и ремонт увеличиваются прямо пропорционально диаметру трубопровода и его длине, т.е. имеет место равенство $C_A + C_P = k_0 \cdot d \cdot l$, грн./год, где k_0 – коэффициент пропорциональности, отражающий стоимость амортизации и ремонта на единицу диаметра и длины трубопровода и зависящий от ряда условий, в первую очередь от материала труб.

Расход энергии, Дж/год, на перемещение Q , м³/год, жидкости или газа может быть найден из уравнения

$$E = \frac{\gamma \cdot V^2 Q}{2g} + \frac{\lambda \cdot l \gamma \cdot V^2 Q}{d \cdot 2g},$$

где γ – удельный вес жидкости;

l и d – длина и диаметр трубы;

g – ускорение силы тяжести;

Коэффициент сопротивления трения по длине трубопровода обычно вычисляют по формуле Блазиуса для турбулентного режима

$$\lambda = 0,3164 \cdot \text{Re}^{-0,25}$$

Так как $\text{Re} = V \cdot d \cdot \rho / \mu$, то

$$\lambda = (0,3164 \cdot \mu)^{-0,25} / (V d \rho)^{-0,25}$$

Подставив значение λ в выражение для определения затрат энергии и заменив ρ через γ/g , получим

$$E = \frac{\gamma \cdot V^2 Q}{2g} + \frac{0,3164 \cdot l \gamma \cdot V^2 (\mu \cdot g)^{0,25} Q}{V^{-0,25} \gamma^{0,25} d^{1,25} \cdot 2g}$$

Для круглых труб $V = 4Q_c(\pi d^2)$. Подставляя значение V , получим

$$E = \frac{0,827 \gamma \cdot Q_c^2 \cdot Q}{d^4} + \frac{0,44 \cdot l \cdot \mu^{0,25} \gamma^{0,75} \cdot Q_c^{1,75} \cdot Q}{d^{4,75}}$$

Стоимость энергии, грн./год, расходуемой за год, составит

$$C_3 = \frac{E \cdot \sigma_3}{3,6 \cdot 10^6 \cdot \eta}$$

где σ_3 – стоимость одного кВт·ч энергии, грн./кВт·ч;

η – КПД насосной установки.

Общая стоимость, грн./год, эксплуатации трубопровода после всех подстановок и преобразований

$$C = k_0 d l + \frac{0,0827 \gamma \cdot Q_c^2 \cdot Q \cdot \sigma_3 \cdot d^{-4}}{3,6 \cdot 10^6 \cdot \eta} + \frac{0,044 \sigma_3 \cdot l \cdot \mu^{0,25} \gamma^{0,75} Q_c^{1,75} d^{-4,75} Q}{3,6 \cdot 10^6 \cdot \eta}$$

Годовую производительность можно выразить через секундный расход, приняв число рабочих дней в году равным z : $Q = Q_c \cdot z \cdot 24 \cdot 3600$.

После соответствующих вычислений получим

$$C = k_1 d + k_2 d^4 + k_3 d^{-4,75}$$

где $k_1 = k_0 l$; $k_2 \approx 0,002 \gamma \cdot Q_c^2 \cdot z / \eta$; $k_3 \approx 0,001 \sigma_3 l \gamma^{0,75} \cdot \mu^{0,25} Q_c^{2,75} \cdot z / \eta$.

Наименьшая стоимость трубопровода будет при $\frac{\partial C}{\partial d} = 0$. Задаваясь значениями d и построив кривую в системе координат d и C , находят

минимум C , соответствующий энергетически наивыгоднейшему диаметру.

7.3 Графическое определение энергетически наивыгоднейшего диаметра

Полученное выражение для стоимости трубопровода может быть использовано для графического определения энергетически наивыгоднейшего диаметра трубопровода.

Найдем минимум функции стоимости трубопровода от его диаметра

$C = k_1 d + k_2 d^4 + k_3 d^{-4,75}$. Функция имеет минимум, если первая производная равна нулю, а вторая производная положительна. Вычислим первую производную

$$\frac{\partial C}{\partial d} = k_1 - 4k_2 d^{-5} - 4,75k_3 d^{-5,75} = 0.$$

Легко заметить, что вторая производная действительно положительна, т.е. $\frac{\partial^2 C}{\partial d^2} > 0$. Действительно, условие минимума выполняется.

Задаваясь значениями диаметра d в разумных пределах, соответствующих реальным значениям диаметров трубопровода для данных конкретных условий при вычисленных заранее значениях k_1 , k_2 и k_3 , строим кривую в координатах d и C . При отрицательных показателях степени при d такая кривая всегда имеет вогнутый характер (рисунок 7.1а).

Для определения энергетически наивыгоднейшего диаметра трубопровода проводим касательную к кривой $C=f(d)$, параллельную оси диаметров. Отрезок на оси C даст минимальную стоимость эксплуатации трубопровода, а отрезок на оси диаметров – энергетически наивыгоднейший диаметр. Обычно полученный диаметр округляют до ближайшего стандартного значения.

Графическое определение энергетически наивыгоднейшего диаметра можно осуществить строя последовательно кривые $C_A + C_P = k_1 d$ и $C_3 = k_2 d^4 + k_3 d^{-4,75}$ (рисунок 7.1б), которые затем графически складываются, затем находят параметры точки А аналогично предыдущему методу.

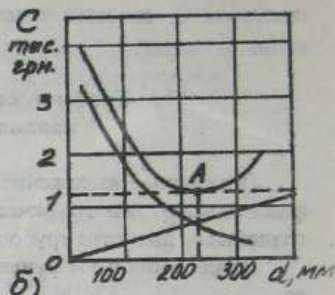
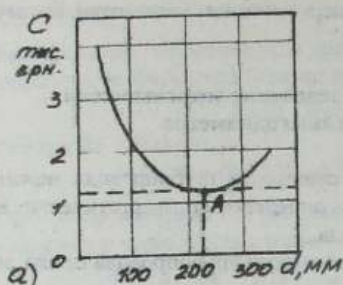


Рисунок 7.1 - Определение энергетически наиболее выгодного диаметра трубопровода: а) методом подстановки значений диаметра; б) методом графического сложения

8 СНИЖЕНИЕ ЭНЕРГОПОТЕРЬ ПОДАВЛЕНИЕМ ТУРБУЛЕНТНОСТИ ПОТОКА

8.1 Снижение энергопотерь добавкой полимеров в жидкость

Исследования последних лет указывают на возможность значительного уменьшения потерь энергии потоков жидкости и газа в трубах путем использования эффекта, открытого Томсом в 1948 году (так называемый феномен Томса).

Эффект Томса заключается в том, что при добавлении, например, к воде миллионных долей некоторых полимеров (полиакриламида, полиметилметакрилата и других) потери напора на трение по длине трубопровода уменьшаются в несколько раз.

Эффект Томса наблюдается только при турбулентном режиме течения. При ламинарном течении добавки полимеров не снижают потери напора и не уменьшают сопротивление трения. Максимальное уменьшение сопротивления происходит в области чисел Рейнольдса, соответствующих полностью развитому турбулентному режиму, а также при массовых концентрациях полимерных добавок от $5 \cdot 10^{-5}$ до $2 \cdot 10^{-4}$.

При таких концентрациях вязкость раствора практически не отличается от вязкости чистой воды или другой жидкости, в которую добавили полимер.

На рисунке 8.1 представлена зависимость коэффициента гидравлического трения λ от Re при течении водных растворов гуаровой смолы в трубопроводах различного диаметра: 1-9,5 мм; 2-12,5 мм; 3-19,1 мм; 4-50 мм.

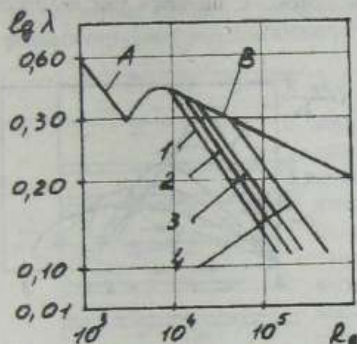


Рисунок 8.1 - Снижение коэффициента гидравлического трения λ при добавке полимеров:

А - ламинарный;

В - турбулентный режимы

Величину коэффициента гидравлического трения при движении воды с добавками полимеров определяют по формуле Ю.А. Войтинской

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda_n}} = -2 \lg \left[\left(\frac{Re_{*nop}}{Re_*} \right)^{\eta/5,75} \left(\frac{2,51}{Re_* \sqrt{\lambda}} + \frac{K_2}{3,7d} \right) \right],$$

$$\text{где } Re_* = \frac{U_* d}{\nu} ; Re_{*nop} = \frac{U_{*nop} d}{\nu},$$

U_{*nop} - пороговая динамическая

скорость, соответствующая началу снижения сопротивления;

η - число, зависящее от концентрации полимера.

8.2 Снижение энергопотерь добавкой твердых частиц в газ

Эффект Томса появляется также и при турбулентном движении газов с добавками взвешенных твердых частиц в небольших концентрациях. О влиянии концентрации и размеров взвешенных в воздушном потоке твердых частиц можно судить по результатам экспериментов.

На рисунке 8.2 показано, что с увеличением концентрации твердых частиц коэффициент гидравлического трения λ вначале резко падает, т.е. относительная разность $(\lambda_0 - \lambda)/\lambda_0$ резко возрастает, а при концентрации 0,8-1,5 эта разность достигает максимума, а затем она уменьшается, а при концентрации 2-3 относительная разность равна нулю. Чем меньше фракции взвешенных в газе частиц, тем больше максимум, и тем меньше величина концентрации, при которой прекращается падение коэффициента гидравлического трения.

Эксперименты показывают, что влияние, аналогичное влиянию твердых частиц в потоке воздуха, оказывают также и капельки жидкости, взвешенные в воздушном потоке.

Отмечено, что струя, содержащая твердые частицы или капельки жидкости, взвешенные в воздушном потоке, становится уже компактнее и дальнобойнее, менее склонна к распаду.

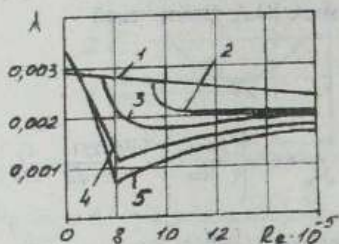


Рисунок 8.2 - Зависимость коэффициента гидравлического трения λ гладкой пластины в запыленном потоке воздуха от числа Re (расход $G = 3,7$ г/с):
1) чистый воздух; 2) 1,68 мм;
3) 0,840 мм; 4) 0,2 мм; 5) 0,1 мм.
(1-5 - указан диаметр твердых частиц)

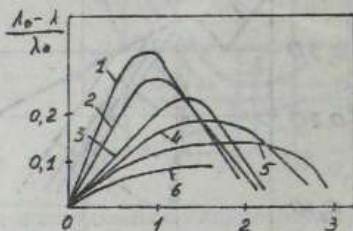


Рисунок 8.3 - Зависимость $(\lambda_0 - \lambda) / \lambda_0$ от концентрации при различных размерах твердых частиц:
1) 10 мкм; 2) 15 мкм; 3) 100 мкм;
4) 200 мкм; 5) 840 мкм; 6) 1680 мкм

8.3 Объяснение сущности эффекта Томса

Полного теоретического обоснования эффект Томса до сих пор не имеет. Установлено только, что полимерные добавки, а также твердые частицы и мелкие капли оказывают подавляющее воздействие на турбулентность жидкостного и газового потока соответственно. Другими словами, добавки как бы ламинизируют турбулентный поток, а значит и уменьшают число Рейнольдса. Следовательно, тем самым снижают коэффициент сопротивления трения, уменьшая при этом энергопотери потока. Это явление может быть использовано в целях энергосбережения.

Эффект Томса становится более понятным при рассмотрении механизма возникновения турбулентности при течении вязкой жидкости в круглой трубе. Еще опыты Рейнольдса в конце 19 века показали, что при малых скоростях движения воды в стеклянной круглой трубе струйка подкрашенной жидкости движется в виде нити, не смешиваясь с остальной жидкостью, так как нет поперечных составляющих скорости (рисунок 8.4а). При увеличении скорости жидкости возникают пульсации скорости за счет поперечных составляющих и струйка подкрашенной жидкости искривляется (рисунок 8.4б), а при дальнейшем

увеличении скорости происходит разрушение подкрашенной струйки за счет интенсификации поперечных составляющих скорости и полный размыв струйки (рисунок 8.4в).

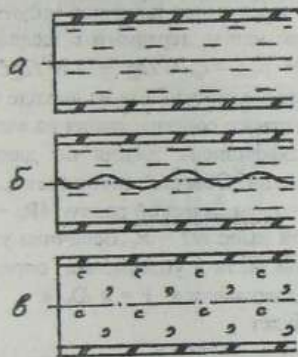


Рисунок 8.4 - Течение жидкости в круглой трубе :
 а - при ламинарном режиме;
 б - при переходном режиме;
 в - при турбулентном режиме

В случае добавки полимеров в жидкость (или твердых частиц в газ) происходит гашение поперечных пульсаций скорости за счет соударения частиц потока жидкости с частицами полимеров или твердыми частицами. При этом энергия поперечных составляющих скорости основного потока частиц диссипируется, переходит частично в тепло, и поток "успокаивается", ламинаризуется, и потери энергии резко снижаются, так как потери при турбулентном течении пропорциональны квадрату скорости, а при ламинарном - только первой степени.

9 ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ ЗА СЧЕТ УСТРАНЕНИЯ УТЕЧЕК ЖИДКОСТИ

9.1 Утечки в центробежных насосах

Одним из существенных источников энергопотерь в гидросистемах являются утечки жидкости: 1) в центробежных насосах;

2) в трубопроводах;

3) в гидроаппаратах.

В результате утечек потребитель теряет часть жидкости, что может быть оценено в m^3 или в денежном выражении $C_B = \sigma_B \cdot W = \sigma_B \cdot Q_y \cdot t$, где W - объем утечек, m^3 ; Q_y - расход утечек, m^3/c ; t - время утечек, с. С другой стороны на перемещение утечек тратится энергия, которая теряется с утечками. Если в результате утечек давление в гидросистеме понизилось на p , H/m^2 , то теряемая мощность - $N = p \cdot Q_y$, Вт. Стоимость этих потерь $C_3 = \sigma_3 \cdot N t = \sigma_3 \cdot p \cdot Q_y \cdot t$. Здесь σ_B - стоимость $1 m^3$ жидкости; σ_3 - стоимость $1 кВт \cdot ч$ электроэнергии.

Таким образом, при устранении утечек происходит экономия как денежных средств, так и электроэнергии.

Объемные потери в центробежных насосах характеризуются объемным КПД $\eta_{об} = 1 - Q_v/Q$, где Q – теоретический расход (теоретическая подача насоса).

Рассмотрим распределение утечек через левое переднее уплотнение рабочего колеса. Вначале определим напор, теряемый в щелевом уплотнении: $H_y = \sum h_{\pi} = h_{вх} + h_{\pi\pi} + h_{вых} = \xi_{вх} V^2/2g + \lambda l V^2/2gd + \xi_{вых} V^2/2g$, где $h_{вх}$, $h_{\pi\pi}$, $h_{вых}$ – потери на входе, по длине и на выходе соответственно; $\xi_{вх}$, $\xi_{вых}$ – коэффициенты местного сопротивления на входе и на выходе, соответственно; λ – коэффициент трения по длине; V – средняя скорость в щелевом уплотнении. Обычно принимают $\xi_{вх} = 0,5$; $\xi_{вых} = 1,0$; диаметр выражают через гидравлический радиус $4R_r = d$, а гидравлический радиус – через щелевой зазор $\delta/2 = R_r$. Величина утечек $Q_y = F \cdot V$, где F – площадь кольцевой щели в уплотнении, определяемая через диаметр уплотнения D_y и длину щели δ : $F = \pi \cdot D_y \cdot \delta$.

Скорость движения утечек в щели будет

$$V = \sqrt{2gH_y / (1,5 + \lambda l/d)},$$

тогда величина утечек

$$Q = \pi D_y \cdot \delta \sqrt{2gH_y / (1,5 + \lambda l/d)}$$

Для щелевых уплотнений характерный режим движения – ламинарный. В этом случае коэффициент трения по длине – $\lambda = 64/Re$. Для щелевых уплотнений обычно принимают вместо 64 другое число – 96, а число Рейнольдса вычисляют через гидравлический радиус $Re = Vd/\nu$, $d = 4R_r$; $R_r = \delta/2$. Отсюда $Re = 2\delta V/\nu$, где ν – коэффициент кинематической вязкости жидкости.

9.2 Утечки в наружных сетях водоснабжения

Утечки жидкости в наружной водопроводной сети составляют по данным исследований около 2% от общего расхода в гидросистеме. В масштабах Украины это составляет огромные потери ценной питьевой воды которой в некоторых регионах катастрофически не хватает. Кроме того, это миллионы кВт·ч потерянной электроэнергии, расходуемой на подачу утечек.

По данным обследований утечки в наружных сетях вызывают

- 1) уменьшение водоподачи к потребителям;
- 2) снижение расчетных напоров на верхних этажах зданий;
- 3) затопление подвальных и цокольных этажей;
- 4) провалы мостовых, тротуаров, подмывы фундаментов зданий;

5) неэкономичный режим работы водопроводной сети.

Для определения утечек на воде последовательно закрывают вентили 2 и 5 (рисунок 9.1), исправность которых предварительно тщательно проверяют. После этого вывинчивается пробка из контрольного патрубка.

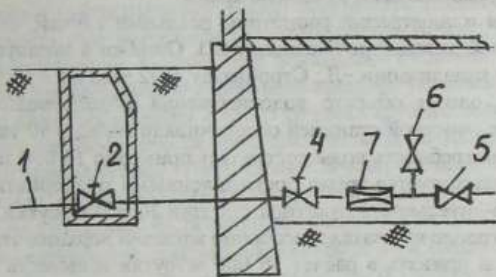


Рисунок 9.1 – Способ определения открытой утечки на вводе в здание:

- 1 - наружная водопроводная сеть; 2 - задвижка в колодце;
- 3 - ввод в здание; 4 - вентиль перед водомером;
- 5 - вентиль за водомером; 6 - контрольный патрубок с пробкой;
- 7 - водомер

Осветив отверстие контрольного патрубка, внимательно наблюдают за уровнем воды.

Понижение уровня воды свидетельствует о наличии утечек на вводе.

Резкое понижение уровня воды свидетельствует о большой утечке и серьезном повреждении ввода.

Если уровень воды не меняется, утечка отсутствует.

В разное время были созданы различные приборы для поиска мест утечки на основе различных физических принципов: акустических, электроакустических, ультразвуковых, электромагнитных, изотопных и других. Приборы проходили тщательную проверку в лабораторных условиях, приближенных к естественным. Была доказана их работоспособность и эффективность. Был налажен массовый выпуск теческательей. Однако все эти приборы в реальных условиях оказались недолговечными и не прижились.

9.3 Утечки в бытовых санитарно-технических приборах

Обследования показали, что серьезным источником утечек являются бытовые приборы санитарно-технического назначения: смывные бачки, умывальные и кухонные краны.

Для иллюстрации рассмотрим реальный случай, описанный в специ-альной литературе (Евлевич Е.З. Ошибки в эксплуатации водопроводов и канализации. -Л.: Стройиздат, 1972.-120 с.).

На одном объекте водоснабжения водопроводные сооружения вместе с очистной станцией обеспечивали город с 80 тыс. жителей. Суточная потребность воды составляет примерно $16\ 000\ \text{м}^3$, из которых $2\ 000\ \text{м}^3$ расходуется тремя промышленными предприятиями. Расчетная производительность очистной станции $20\ 000\ \text{м}^3/\text{сутки}$, и тем не менее воды в городе не хватало, особенно жителям верхних этажей.

Если принять в расчет $16\ 000\ \text{м}^3/\text{сутки}$ и вычесть $2\ 000\ \text{м}^3/\text{сутки}$, расходуемых промышленными предприятиями, то оставшиеся $14\ 000\ \text{м}^3/\text{сутки}$ составляют проектную норму суточного расхода на одного человека - $175\ \text{л}/\text{сутки}$. Фактически же жители получали всего лишь около $2/3$ этого количества.

Была организована проверка службами коммунального хозяйства города. Обследовали 6 800 квартир: обнаружили утечки 164 смывных бачков, 85 умывальных кранов, 98 кухонных кранов. В процентном отношении неисправности составили от 1,2 до 2,3% по отношению к установленным приборам. Эти утечки $0,05-0,08\ \text{л}/\text{с}$ кажутся безобидными, но за сутки составляют значительные объемы воды. Для всего города эти утечки составили $6\ 285\ \text{м}^3/\text{сутки}$ или 39% от общего расхода воды в городе (таблица 3). Если к этим потерям прибавить утечки наружной водопроводной сети равные 2% от общего расхода ($320\ \text{м}^3/\text{сутки}$), то общая потеря воды из-за утечек составит $6\ 605\ \text{м}^3/\text{сутки}$ или 41% от общего суточного расхода воды в городе.

Таким образом, фактическая норма водопотребления не $175\ \text{л}/\text{сутки}$ на одного жителя, а $117\ \text{л}/\text{сутки}$, т.е. на $58\ \text{л}/\text{сутки}$ меньше проектной нормы водопотребления.

Таблица 3 - Величины утечек воды

Приборы, дающие утечки	Число приборов	Объем утечек, $\text{м}^3/\text{сутки}$	Суммарный объем, $\text{м}^3/\text{сутки}$
Смывные бачки	492	6	2952
Умывальные краны	255	5	1275
Кухонные краны	294	7	2058
Общие потери			6285

10 ЗАВИСИМОСТЬ ЭНЕРГОПОТЕРЬ ОТ СРОКА ЭКСПЛУАТАЦИИ ТРУБОПРОВОДА

10.1 Увеличение энергопотерь в водопроводах при эксплуатации

При проектировании трубопроводов разного назначения их диаметр выбирается с таким расчетом, чтобы обеспечить заданную пропускную способность при расчетном значении потерь напора в течение всего срока эксплуатации. Однако, как показывает практика, пропускная способность трубопроводов с течением времени уменьшается в несколько раз за счет уменьшения живого сечения труб из-за отложений на них грязи и ржавчины. Это явление специалисты называют зарастанием труб или инкрустацией. Интенсивность инкрустации зависит от материала стенок трубы, свойств перекачиваемой жидкости и других малоизученных факторов. В результате инкрустации увеличивается шероховатость внутренних стенок трубопроводов Δ , а следовательно, и коэффициент трения по длине трубопровода $\lambda = 0,11(\Delta/d + 68/Re)^{0,25}$, где d – диаметр трубы; Re – число Рейнольдса.

Увеличение шероховатости стенок трубопровода в первом приближении можно оценить по формуле $\Delta(t) = \Delta + \alpha \cdot t$, где Δ – абсолютная шероховатость до начала эксплуатации трубопровода; α – коэффициент возрастания шероховатости через t лет. Результаты исследований зависимости α от перекачиваемой среды приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Значение коэффициента α для труб диаметром 400-600 мм

Характеристика перекачиваемых природных вод	α , мм/год
1 Слабоминерализованные некоррозионные воды	0,005
2 Воды с незначительным содержанием органических веществ и растворенного железа	0,025
3 Слабоминерализованные коррозионные воды, содержащие органические вещества и растворенное железо менее 3 мг/л	0,07
4 Сильнокоррозионные воды со значительным содержанием растворенного железа более 3 мг/л	0,2
5 Сильнокоррозионные воды с содержанием хлоридов и сульфитов более 500 мг/л	0,5
6 Сильнокоррозионные воды со значительной карбонатной жесткостью с минерализацией более 2000 мг/л	1,0

10.2 Увеличение энергопотерь в воздуховодах при эксплуатации

Инкрустации подвержены также и воздуховоды. В процессе эксплуатации воздуховодов удаляемые аэрозоли осаждаются на внутренних стенках в виде конденсата или пылевых частиц, существенно изменяя шероховатость поверхности.

Шероховатость стенок воздуховодов увеличивается также вследствие корродирующего воздействия агрессивных паров и газов. Увеличение шероховатости стенок воздуховодов оценивается аналогично водопроводным: $\Delta(t) = \Delta + \alpha \cdot t$, где α - коэффициент возрастания шероховатости, зависящий от состава транспортируемых аэрозолей, их адгезионной способности по отношению к материалу внутренней поверхности воздуховода и некоторых других малоизученных факторов.

В зависимости от вида производства, на котором эксплуатируется вентиляционный воздуховод, коэффициент α может изменяться в довольно широких пределах. Значения α для различных условий приведены в таблице 5.

Таблица 5 - Значение коэффициента α для воздуховодов

Характеристика перекачиваемых газовых сред	α , мм/год
1 Перекачка природного газа по трубам	0,043
2 Вытяжные устройства, подверженные атмосферным воздействиям; гальванические участки никелирования, травления, воронения	0,65
3 Гальванические участки хромирования и полирования; заточные, наждачные, полировальные участки и участки сухой шлифовки	3,3
4 Пропиточные машины для приготовления пластика; масляные ванны термических цехов; кондитерские печи; кольцевые воздуховоды над плитами в кухнях	9,0
5 Участки пульверизационной окраски; шлифовальные участки мокрой шлифовки	17,2
6 Пайка радиоаппаратуры на конвейерах с применением различных флюсов на основе канифоли, стеарина	42

10.3 Снижение пропускной способности нефтепроводов при эксплуатации

В настоящее время в общем балансе добычи нефти значительное место занимает парафинистая нефть, содержание парафина в которой изменяется в весьма широких пределах – от 1 до 25%, а в отдельных случаях и до 30% по весу.

Опыт эксплуатации нефтепроводов, перекачивающих подобную нефть, показывает, что их пропускная способность подвержена существенным изменениям, которые носят в основном “сезонный” характер и в значительной степени обуславливаются температурными условиями перекачки, химическим составом и физико-механическими свойствами перекачиваемой нефти.

Известны случаи, когда пропускная способность нефтепроводов в некоторые периоды времени снижалась на 15-25% (рисунок 10.1).

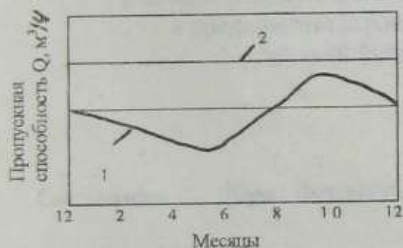


Рисунок 10.1 - Изменение пропускной способности нефтепровода в течение года

Кривая 1 – реальная пропускная способность; 2 – теоретическая пропускная способность нефтепровода. Основной причиной снижения пропускной способности является запарафинирование – образование на внутренних стенках нефтепровода грязе-парафиновых отложений, уменьшающих проходное сечение трубы. Главным фактором, определяющим интенсивность процесса парафинизации, является

температурный режим, т.е. распределение температуры по сечению.

Русский инженер В.Г. Шухов в начале 20 века установил, что изменение температуры нефти по длине трубопровода подчиняется выражению $t = t_0 + (t_1 - t_0) \cdot e^{-kl}$, где t_0 – температура грунта вдоль оси трубы; t_1 – начальная температура нефти; k – коэффициент интенсивности теплообмена, зависящий от температурного перепада нефти и окружающей среды; l – расстояние от начала трубопровода до исследуемого сечения трубопровода.

Список литературы

1. Эффективность в химической промышленности. -К.: Энергет. центр Европ. Союза, 1999. - 170 с.
2. Украина: Энергосбережение в зданиях/М.А. Айзен.-К.: Энергет. центр Европ. Союза, 1998. - 274 с.
3. Ткачук Ю.Я. Определение параметров насосных установок объемных гидроприводов промышленных роботов на этапе эскизного проектирования //Вестник НТУУ "КПИ". Машиностроение, вып.36. -К., 1999. -Т.1.-С. 58-61.
4. Евтушенко А.А., Ткачук Ю.Я., Смертяк С.Ю. Снижение энергоэффективности трубопроводов в процессе эксплуатации //Вестник НТУУ "КПИ". Машиностроение, вып.38. -К., 2000.-Т.1.-С. 9-14.
5. Ткачук Ю.Я. Совершенствование методов расчета промышленных роботов. -К.: Знание, 1988.-24 с.

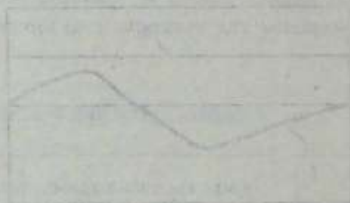


Рис. 1. Выходной сигнал с датчика температуры в процессе эксплуатации трубопровода.

УЧЕБНОЕ ИЗДАНИЕ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ ПО КУРСУ «ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ»

для студентов специальностей
6.090202 "Гидравлические и пневматические машины,
гидропривод и гидропневмоавтоматика"

и

6.090220 "Оборудование химических производств
и предприятий строительных материалов"
заочной формы обучения

Составитель Юрий Яковлевич Ткачук

Ответственный
за выпуск Анатолий Александрович Евтушенко

План 2001 г.	Поз. 43.	
Подп. в печ. 20.01.2001.	Формат 60x84x16	Уч.-изд. л. 1, 47.
Тираж 200 экз.	Заказ № 132	Усл. печ. л. 2, 26.
Себестоимость изд.	0.80 грн.	

Изд-во СумГУ. Р.с. №34 от 11.04.2000 г. 40007, г. Сумы, ул. Римского-Корсакова, 2

Ризоцентр СумГУ.
40007, г. Сумы, ул. Римского-Корсакова, 2