



Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования  
«Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого»

Кафедра «Промышленная теплоэнергетика и экология»

Н. А. Вальченко, В. Г. Якимченко

# **ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ АУДИТ И УПРАВЛЕНИЕ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕМ**

**ПОСОБИЕ**

**по одноименной дисциплине  
для студентов специальности 1-43 01 07**

**«Техническая эксплуатация  
энергооборудования организаций»  
дневной и заочной форм обучения**

Гомель 2020

УДК 620.9:005(075.8)  
ББК 31.19+65.052.8я73  
В16

*Рекомендовано научно-методическим советом  
энергетического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого  
(протокол № 6 от 26.02.2019 г.)*

Рецензент: директор Института повышения квалификации и переподготовки  
ГГТУ им. П. О. Сухого канд. техн. наук, доц. *Ю. Н. Колесник*

**Вальченко, Н. А.**  
В16 Энергетический аудит и управление энергопотреблением : пособие по одному.  
дисциплине для студентов специальности 1-43 01 07 «Техническая эксплуатация энергооборудования организаций» днев. и заоч. форм обучения / Н. А. Вальченко, В. Г. Якимченко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2020. – 48 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <https://elib.gstu.by>. – Загл. с титул. экрана.

Содержит материал для закрепления теоретических знаний по основным разделам дисциплины, а также для приобретения навыков практического проведения энергетических обследований.

Для студентов специальности 1-43 01 07 «Техническая эксплуатация энергооборудования организаций» дневной и заочной форм обучения.

**УДК 620.9:005(075.8)  
ББК 31.19+65.052.8я73**

© Учреждение образования «Гомельский  
государственный технический университет  
имени П. О. Сухого», 2020

## 1. Энергия. Ресурсы. Методы преобразования энергии.

**Энергия** (от греческого *energeia* – действие, деятельность), общая количественная мера различных форм движения материи. Вследствие существования закона сохранения энергии, понятие энергии связывает воедино все явления природы.

Приведем одну из классификаций видов энергии.

1. *Аннигиляционная энергия* – полная энергия системы «вещество- антивещество», освобождающая в процессе их соединения и аннигиляции (взаимного уничтожения, т.е. слияния и «исчезновения») в различных видах.

2. *Ядерная энергия* – энергия связи нейтронов и протонов в ядре, освобождающаяся в различных видах при делении тяжелых и синтезе легких ядер; в последнем случае ее называют «термоядерной».

3. *Химическая (логичнее – атомная) энергия* – энергия системы из двух или более реагирующих между собой веществ. Эта энергия освобождается в результате перестройки электронных оболочек атомов и молекул при химических реакциях.

4. *Гравитатическая энергия* – потенциальная энергия ультраслабого взаимодействия всех тел, пропорциональная их массам. Практическое значение имеет энергия тела, которую оно накапливает, преодолевая силу земного притяжения.

5. *Электростатическая энергия* – потенциальная энергия взаимодействия электрических зарядов, то есть запас энергии электрически заряженного тела, накапливаемый в процессе преодоления им сил электрического поля.

6. *Магнитостатическая энергия* – потенциальная энергия взаимодействия «магнитных зарядов», или запас энергии, накапливаемый телом, способным преодолевать силы магнитного поля в процессе перемещения против направления действия этих сил. Источником магнитного поля может быть постоянный магнит, электрический ток.

7. *Нейтриностатическая энергия* — потенциальная энергия слабого взаимодействия «нейтринных зарядов», или запас энергии, накапливаемый в процессе преодоления сил  $\beta$ -поля— «нейтринного поля». Вследствие огромной проникающей способности нейтрино накапливать энергию таким способом практически невозможно.

8. *Упругостная энергия* — потенциальная энергия механически упруго измененного тела (сжатая пружина, газ), освобождающаяся

при снятии нагрузки чаще всего в виде механической энергии.

9. *Тепловая энергия* — часть энергии теплового движения частиц тел, которая освобождается при наличии разности температур между данным телом и телами окружающей среды.

10. *Механическая энергия*—кинетическая энергия свободно движущихся тел и отдельных частиц.

11. *Электрическая (электродинамическая) энергия* — энергия электрического тока во всех его формах.

12. *Электромагнитная (фотонная) энергия* — энергия движения фотонов электромагнитного поля.

13. *Мезонная (мезодинамическая) энергия* — энергия движения мезонов (пионов) — квантов ядерного поля, путем обмена которыми взаимодействуют нуклоны (теория Юкавы, 1935 г.).

14. *Гравитационная (гравитонная) энергия* — энергия движения гипотетических квантов гравитационного поля — гравитонов.

15. *Нейтринодинамическая энергия* — энергия движения всепроникающих частиц  $\beta$ -поля — нейтрино.

Таковы «лица» многоликой царицы — Энергии. А нельзя ли число их увеличить или убавить? Теоретически можно, но для этого нужны веские аргументы.

Так, иногда выделяют еще «колебательную» и «инерционную» энергии. Однако и колебательный характер движения и инерция свойственны различным видам материи и движения (например, «звуковая энергия» есть разновидность механической), а потому уже включены в классификацию.

Часто в особый вид энергии выделяют *биологическую*. Но биологические процессы — всего лишь особая группа физико-химических процессов, в которых участвуют те же виды энергии, что и в других. Обычно в растениях электромагнитная энергия солнечного излучения превращается в химическую энергию, а в организмах животных —химическая энергия пищи превращается в тепловую, механическую, электрическую, а иногда и в световую (электромагнитную). Поэтому правильнее говорить не о биологической энергии, а о биологических преобразователях энергии — растениях и животных.

А существует ли «*психическая энергия*»? Большинство специалистов считает, что пока нет оснований ее выделять, так как неясно, каким материальным носителям, формам движения и видам

взаимодействия можно сопоставить эту энергию. Однако ни один акт человеческой деятельности не может произойти без мотивационного, а значит и «психоэнергетического» обеспечения, источником которого служит физико-химическая энергия организма.

А на что еще можно рассчитывать в будущем? Эксперименты на мощных ускорителях элементарных частиц свидетельствуют, что считавшиеся неделимыми нейтрон и протон, вероятно, состоят из еще более «элементарных» частиц, чему, возможно, соответствует какой-то новый вид или виды энергии.

Теоретики предполагают существование «вакуумной энергии». Космический вакуум рассматривается ими как сверхплотная среда с мелкозернистой структурой, а обычная материя — как разряженное состояние этой среды. При фантастической плотности в  $10^{93}$  г/см<sup>3</sup> между «зернами вакуума» действуют огромные гравитационные силы, и энергия вакуума оказывается как бы «запечатанной». Чтобы «возбудить» вакуум и освободить эту энергию, надо сжать материю до огромной плотности, что в земных условиях представляется пока нереальным, поскольку требует создания сверхмощных ускорителей.

### **Использование видов энергии**

Из перечисленных выше 15 видов энергии практическое значение имеют пока только 10: ядерная, химическая, упругостная, гравистатическая, тепловая, механическая, электрическая, электромагнитная, электростатическая и магнитостатическая.

При этом непосредственно используются всего четыре вида: тепловая (около 70 - 75%), механическая (около 20-22%), электрическая (около 5-3%) и электромагнитная - световая (менее 1%). Причем так широко вырабатываемая, подводимая по проводам в каждый дом и к каждому станку электрическая энергия выполняет в основном роль переносчика энергии.

Практически в любом технологическом процессе используется несколько видов энергии. Топливо-энергетические балансы при этом составляются обычно по видам используемых топлив, видов энергии для каждого технологического цикла (передела) отдельно. Это не позволяет провести объективное сравнение различных технологических процессов для производства одного и того же вида продукции. Для энергоемкости какого-либо технологического продукта было предложено все виды энергии классифицировать на три группы:

1. Первичная энергия - химическая энергия ископаемого

первичного топлива, с учетом энергетических затрат на добычу, подготовку (обогащение), транспортировку и т.д.

2. Производная энергия - энергия преобразованных энергоносителей, например: пар, горячая вода, электроэнергия, сжатый воздух, кислород, вода и др., с учетом затрат на их преобразование.

3. Скрытая энергия - энергия, израсходованная в предшествующих технологиях и овестьвленная в сырьевых исходных материалах процесса, технологическом, энергетическом и т.п. оборудовании, капитальных сооружениях, инструменте и т.д.; к этой же форме энергии относятся энергозатраты по поддержанию оборудования в работоспособном состоянии (ремонт), энергозатраты внутри- и межзаводских перевозок и других вспомогательных операций.

Для многих массовых видов продукции величина энергетических затрат в виде скрытой энергии, то есть вносимой оборудованием и капитальными сооружениями, являются относительно незначительной по сравнению с другими двумя видами энергии и поэтому в первом приближении может включаться в расчет по примерной оценке.

### **Энергетические ресурсы Земли**

Почти вся энергия поступает на поверхность Земли от Солнца, за исключением небольшого количества теплоты за счет радиоактивности земной коры, наличия раскаленного земного ядра, а также гравитационной энергии взаимодействия Земли с Луной и Солнцем. Даже органическое топливо, используемое сегодня, обязано своим происхождением фотосинтезу растительности болот доисторической эпохи. Однако не весь поток энергии солнечного излучения, интенсивность которого составляет примерно  $1,4 \text{ кВт/м}^2$ , утилизируется; примерно 30—40 % этого потока энергии рассеивается прямым отражением. Коэффициент отражения (альбедо) зависит от характерных особенностей поверхности, на которую падают лучи Солнца, т.е. от того, является ли она песчаной пустыней, снежной равниной, водной гладью, облачностью и т.д.

Проблема обеспечения возрастающих потребностей в электроэнергии намного облегчилась бы, если бы стало возможным эффективное прямое преобразование солнечной энергии в электрическую. Такое преобразование может осуществляться и уже осуществляется, но его КПД очень низкий и получаемая при таком

КПД энергия служит лишь незначительным добавлением к основному количеству энергии, производимой с помощью органического топлива, геофизических источников и ядерных реакторов деления.

### **Органические топлива (первичная энергия)**

Органические топлива, т. е. уголь, нефть и природный газ, составляют сейчас и будут составлять в перспективе подавляющую часть всего энергопотребления. Образование органических топлив является результатом теплового, механического и биологического воздействия в течение многих столетий на останки растительного и животного мира, откладывавшиеся во всех геологических формациях. Все эти топлива имеют углеродную основу, и энергия высвобождается из них, главным образом, в процессе образования двуокси углерода (диоксида углерода).

### **Нефтяное топливо**

Сырая нефть, поступающая из скважин, представляет собой смесь углеводородов от летучих газолинов (не путать с автомобильным бензином) до очень вязких гудронов. Она обычно представляет собой смесь молекул из трех основных углеводородных групп: парафинов, циклопарафинов или лигроинов и ароматических смол. В небольших количествах в ней содержатся также другие элементы, химически связанные с молекулами углеводородов: сера (до 6%), кислород (до 4 %), азот (до 1 %) и следы некоторых металлов. Кроме основных углеводородных молекулярных структур в нефти присутствует много компаундов со значительно большей молекулярной массой, образованных удлинением или соединениями основных молекулярных блоков. Например, в одной из проб сырой нефти было обнаружено более 300 различных углеводородов.

Нефть в сыром виде не находит широкого применения, но она может быть превращена в исключительно ценные нефтепродукты путем ее переработки. Это общее понятие включает три основных процесса: физическое разделение смеси, риформинг и ректификацию. Производство различных видов продукции из нефти должно регулироваться в соответствии с потребностью в них в зависимости от сезона, колебания спроса и их расходом в качестве сырьевых материалов. Большинство перерабатывающих заводов сооружается для переработки какого-либо одного определенного вида сырья, и сырье других сортов, имеющее иные характеристики, например повышенное содержание серы, для них не подходит.

Именно благодаря столь широкому разнообразию исходных

материалов, содержащихся в сырой нефти, последняя стала высоко цениться. Однако, несмотря на исключительно широкий ассортимент продукции, получаемой из нефти и имеющей широкий спрос на рынке, — от нейлона до красителей, от медикаментов до пластиков, — доля нефти, используемой в качестве сырья для нефтехимии, составляет менее 3 % ее суммарной добычи. Большая часть произведенных из нефти продуктов сжигается. Представляется, что в ближайшем будущем такое положение сохранится, — по крайней мере, до того, пока затраты на энергию, получаемую таким путем, будут ниже, чем на энергию, получаемую на базе других источников.

### **Природный газ**

Природный газ, в основном метан, обнаруживается вместе с месторождениями нефти в пропорции примерно 1300 м<sup>3</sup> газа на 1 т сырой нефти или в отдельных месторождениях газа.

Новейшие достижения в области энергетики, а также создание газопроводов большого диаметра и больших океанских танкеров, в которых можно поддерживать достаточно низкую температуру, чтобы перевозить сжиженный газ, обеспечивают хорошие перспективы для использования большей части всего имеющегося в недрах Земли газа.

Более тяжелые компоненты природного газа - этан, бутан, пропан и другие - при нормальных температуре и давлении (т.е. 20°C и 0,1 МПа) находятся в жидком состоянии. При выходе природного газа из скважины они удаляются из газового потока для того, чтобы их конденсат не затруднял передачу газа; добыча газового конденсата регистрируется в газовой промышленности отдельно. В среднем по США соотношение добычи газового конденсата и сырой нефти составляет 220 кг конденсата на т сырой нефти.

### **Уголь**

Уголь имеет принципиально иное происхождение, чем нефть. Происхождение последней связывают с осадочными отложениями в морской воде, в то время как уголь образовался из осадков органических веществ в пресной воде доисторических болот. Уголь обнаруживается в пластах всех геологических эпох - от нижнего палеозоя (350 млн. лет тому назад) до сравнительно недавнего четвертичного периода (1 млн. лет тому назад). Последовательность возникновения угля (торф, лигнит, бурый уголь, суббитуминозный и битуминозный уголь, антрацит) - от недавних растительных образований до наиболее твердых, с высоким содержанием углерода,



сортов угля.

Высокая теплота сгорания угля определяется высоким содержанием в нем водорода и количеством углерода. Поскольку содержание водорода до какой-то степени зависит от содержания углерода, очевидно, что воздействие бактерий разрушает углеводородные молекулярные структуры, составляя химически активный водород и углерод. Следовательно, чем дольше происходит это воздействие, тем вероятнее повышение теплоты сгорания угля. Вообще, чем старше уголь, тем выше его качество (или сортность, если использовать терминологию, принятую в промышленности). Большая разница в теплоте сгорания различных сортов угля очень затрудняет оценку угольных ресурсов, поскольку нужно знать не просто количество извлекаемого угля, но, что важнее, количество энергии которое можно получить из него.

Уголь добывается более 1000 лет, а его использование в крупных масштабах насчитывает, по меньшей мере, 200 лет. Хорошо изучено и расположение угольных пластов. Задача оценки извлекаемого объема угля значительно проще, чем аналогичная задача для нефти. Но, как и для нефти, процессы, происходящие в недрах, не изучены и никогда не смогут быть изучены полностью. Как следствие, оценки запасов угля по прошествии определенного периода времени по мере поступления новой информации должны пересматриваться в сторону их повышения.

**Древесное топливо.** Состоит в основном из клетчатки (50-70%) и межклеточного вещества лигнина (20-30%). Ценность древесного топлива состоит в малой зольности (до 1%), отсутствии серы и большом содержании горючих летучих (до 85%). Возможная значительная влажность (до 60%) существенно снижает его теплотворную способность

Соответственно, по этой влажности дрова подразделяются на :

1. Воздушно-сухие с содержанием влаги до 25%.
2. Полусухие с содержанием влаги от 26 до 30%.
3. Сырые с содержанием влаги более 50%.

**Отходы растениеводства.** По своей структуре и топливным характеристикам близко подходят к древесине. Большинство из них отличается относительно высокой теплотворной способностью.

### **Геофизическая энергия (возобновляемая энергия)**

Для того чтобы узнать, какие источники энергии относятся к альтернативным, следует вначале тщательно проанализировать схему

энергетического баланса Земли. Рассмотрим сначала геотермальную, гравитационную и солнечную энергии; эти источники энергии назовем геофизическими. По сравнению с органическим топливом количество энергии, которое можно получить от этих трех источников, относительно легко оценить. Проанализируем методы, с помощью которых геофизическая энергия может быть преобразована в полезную работу, оценим конечные ресурсы каждого вида энергии.

### **Гидроэнергия**

Преобразование потенциальной энергии воды, накопленной в водоемах, в механическую энергию вращения с целью приведения в действие мельниц и других механизмов применялось со времен Римской империи. Преобразование гидроэнергии в электрическую энергию стало возможным в конце XIX в. благодаря открытиям физики и техническому прогрессу. Крупные гидроэлектростанции начали появляться на рубеже XIX и XX вв.

Физические принципы процесса преобразования энергии падающей воды в электроэнергию в действительности просты, однако технические детали достаточно сложные. Вода под напором, создаваемым плотиной, направляется в водовод, который заканчивается турбиной. Турбина вращает вал, к которому присоединен ротор генератора, вращающийся в магнитном поле статора. Выработка электроэнергии зависит от потенциальной энергии воды, запасенной в водоеме, и КПД ее преобразования в электроэнергию.

Мощность гидроэлектростанций (ГЭС) зависит как от количества воды, так и от перепада между водной поверхностью водохранилища и уровнем установки гидроагрегата; этот перепад называется напором. Вода, поступающая на турбину под высоким напором, имеет большую потенциальную энергию, чем при малом напоре, и поэтому на высоконапорной электростанции требуется меньший расход воды для получения одинаковой мощности. Чем выше напор, тем меньше необходимые габариты турбины, что удешевляет стоимость всего сооружения. Но высокий напор не всегда удается создать; мощность ГЭС и количество вырабатываемой ею электроэнергии в основном зависят от топографических условий в районе размещения водохранилища и ГЭС.

Водоохранилища, образованные плотинами, могут оказывать вредное воздействие на окружающую среду. Они могут приводить к уничтожению уникальной флоры и фауны, сокращению стока реки,

прекращению сезонных паводков (Асуанский гидроузел), нанесению ущерба ландшафту района расположения водохранилища. Кроме того, все водотоки несут с собой наносы, которые, оседая в водохранилищах, снижают их полезную емкость. Поэтому полезное использование водохранилищ продолжается всего от 50 до 200 лет. Многие гидроэлектростанции были построены в засушливых районах. Создание в таких районах крупных водных поверхностей в долгосрочной перспективе должно вызывать климатические изменения, иногда желательные. И, наконец, образование крупного водохранилища создает очень большое давление на малый участок поверхности земли. Образующиеся в результате этого напряжения в породах, слагающих дно водохранилища, если их не снимать, могут создать потенциальную угрозу землетрясения.

Поэтому целесообразно развитие ГЭС малой мощности, в основном, на уже существующих водохранилищах.

Вместе с тем существуют и другие возможности использования водной энергии - приливные гидростанции (ПЭС). В некоторых районах мирового океана наблюдается очень большая амплитуда приливной волны и разность между верхней и нижней отметками прилива достигает 10 м. Если открыть шлюз в дамбе в то время, когда приливная волна набирает высоту, дать возможность заполниться водохранилищу и затем в высшей точке прилива шлюз закрыть, то накопленную воду можно во время отлива пропустить через турбины и таким образом выработать электроэнергию. Еще лучше, если турбины могут быть сконструированы реверсивными; в этом случае они будут работать как при заполнении водохранилища, так и при его опорожнении. Совершенно очевидно, однако, что выработка электроэнергии на ПЭС возможна лишь в определенные промежутки времени суток, и это затрудняет использование приливной энергии в крупной энергосистеме.

Значение суммарного энергетического потенциала приливов мирового океана по оценке составляет 13 ГВт, что очень немного по сравнению с гидроэнергетическим потенциалом речного стока. Конечно, данная оценка может иметь серьезные погрешности, но маловероятно, чтобы их устранение внесло принципиальные изменения в вывод о том, что приливная энергия не может внести существенного вклада в покрытие энергетических потребностей человечества в будущем. Вместе с тем следует отметить, что использование энергии приливов в целях выработки электроэнергии

для местных нужд имеет явные преимущества.

Энергия приливов не образует вредных отходов и не растрчивает невозполнимых минеральных ресурсов, наносимый его ущерб экологии и эстетике местности невелик. Представляется логичным осваивать энергию приливов там, где сочетание топографического и энергетического факторов делают это экономически целесообразным и технически возможным.

**Ветровая энергия.** Ветровая энергия продолжительное время использовалась в мореплавании, а также для приведения в движение мельничных колес. В последнее время она начала использоваться для выработки электроэнергии. Большинство ветроэнергетических установок имеет мощность несколько киловатт, и используются они в отдаленных местах, например на морских маяках.

Со времени энергетического кризиса 1973 — 1974 гг. в развитие ветровой энергетики были вложены значительные средства. Было построено несколько экспериментальных установок разной конструкции. Стоимость электроэнергии, вырабатываемой ветроэнергетическими установками, все еще высока по сравнению с электроэнергией, получаемой на базе органического топлива. Кроме того, выявились некоторые проблемы, связанные с электрическими помехами. Тем не менее, ветровую энергию следует рассматривать как энергетический ресурс.

Ветроэнергетическая установка предназначена для того, чтобы превращать кинетическую энергию ветра в энергию вращения ротора генератора, который и вырабатывает электроэнергию. Выходная мощность установки пропорциональна площади лопастей ветрового ротора и скорости ветра (в кубе). Поэтому ветроэнергетические установки большой мощности, в мегаваттном диапазоне, должны быть по своим габаритам очень крупными, поскольку скорость ветра в среднем не бывает очень большой.

Одной из самых сложных проблем, препятствующих широкому распространению ветроэнергетических установок, является постоянно меняющаяся скорость ветра. Даже высоко в горах нельзя рассчитывать на стабильную скорость ветра. Кроме того, электроэнергия начинает вырабатываться этими установками тогда, когда дует ветер, а не тогда, когда она необходима. К сожалению, удобного, эффективного и экономичного способа запастись электроэнергией в большом количестве еще нет.

Отношение к ветроэнергетическим установкам до сих пор

неоднозначно. Считается, что широкое развитие ветровой энергии может привести к заметным климатическим изменениям.

**Геотермальная энергия.** Этот вид энергии некоторые причисляют к неисчерпаемому, экологически чистому источнику энергии будущего. Чтобы понять, насколько это соответствует действительности, необходимо внимательно проанализировать принципы использования геотермальной энергии. Принцип выработки электроэнергии тот же, что и на ТЭС, работающей на органическом топливе: теплота, получаемая в данном случае из недр Земли, используется для выработки пара, который вращает турбоагрегат. КПД ГеоТЭС из-за низкой температуры пара меньше, чем ТЭС на органическом топливе. Кроме того, пар, поступающий из недр Земли, загрязнен, иногда значительно, растворенными в нем солями.

Для удаления нежелательных химических примесей в схеме ГеоТЭС предусмотрен сепаратор пара. В последующем эти химические вещества могут быть использованы в качестве промышленного сырья. Из конденсатора поступает чистая вода, которая может использоваться в хозяйственных целях. Для конденсации отработавшего пара используется внешнее охлаждение - возможно охлаждение с помощью градирен, а получаемая вода может вновь закачиваться через скважины в недра Земли для ее дальнейшего включения в процесс теплообмена. В более простых схемах отдельные компоненты могут отсутствовать.

Если бы земная кора, мантия и ядро были однородными, тепловой поток повсюду был бы равномерным, тепловое излучение земного ядра было бы непригодно для использования. Однако земная кора неоднородна, и вулканическая деятельность и наличие горячих источников во многих районах служат доказательством того, что магма в этих местах относительно близко подступает к поверхности земли. В отдельных районах, где магма близко подходит к водонесущим породам, которые к тому же сверху перекрыты непроницаемой скальной породой, создаются благоприятные условия для образования пара. Путем бурения скважин этот пар, часто имеющий температуру от 100 до 300 °С, можно извлекать из недр земли для использования. Иногда такой пар через естественные трещины или расщелины выходит на поверхность в форме гейзеров. Эта гипотеза образования пара не доказана, поскольку еще не проводились соответствующие исследования процесса теплообмена между источником теплоты и водоносными пластами.

Оценить ресурсы геотермальной энергии - задача трудная; любая количественная оценка на сегодняшний день, вероятно, неточна, однако не настолько, чтобы серьезно изменить сделанные выводы. Использованный метод оценки состоял в обследовании всех известных в мире районов геотермальной активности и определении количества теплоты, содержащейся в этих районах на глубине до 19 км. При этом методе геотермальные ресурсы были оценены в  $4 \cdot 10^{22}$  Дж. Допустим, что из этого количества энергии 1 % может быть преобразован в электроэнергию при КПД = 25%. В этом случае общее производство электроэнергии составит  $10^{20}$  Дж. Для выработки такого количества электроэнергии, скажем за 50 лет, понадобилось бы построить геотермальные электростанции общей установленной мощностью 60 ГВт. Однако эта мощность одного порядка с мощностью, которую можно получить при освоении всего потенциала приливной энергии.

Чтобы приступить к освоению этого относительно небольшого источника энергии, необходимо сначала решить несколько технологических и экологических проблем. Широкое освоение геотермальной энергии будет возможно, когда она станет конкурентоспособной по сравнению с другими энергоресурсами. Большая часть затрат на ее освоение связана в настоящее время с бурением скважин, необходимых для извлечения из недр пара или горячей воды. Эти скважины не столь глубокие, как нефтяные, однако их диаметр больше (достигает 60 см). Высокое содержание солей в геотермальной воде приводит к тому, что через несколько лет работы происходит закупорка скважин. В результате их необходимо прочищать или требуется пробуривать новые скважины в другом месте, что связано с дополнительными расходами. По большинству скважин поступает не пар, а горячая вода; в этом случае КПД процесса выработки электроэнергии меньше. Отбор теплоты из геотермального источника происходит обычно быстрее, чем ее возмещение за счет естественного процесса. В результате со временем температура пара или горячей воды начинает снижаться, уменьшается также их поступление на поверхность. Это означает, что наступает исчерпание источника геотермальной энергии. Чтобы предотвратить этот процесс, под землей под высоким давлением должна закачиваться вода, что связано с определенным риском. Такая закачка вызывала сдвиги земной коры вдоль линий разрывов.

На пути к широкомасштабному использованию геотермальной

энергии стоит много нерешенных проблем, которые необходимо преодолеть до того, как будут сделаны крупные капитальные вложения в освоение этого источника энергии. Руководствуясь историческими фактами, можно прийти к выводу, что если крупные капиталовложения будут сделаны, то эксплуатация геотермального источника будет осуществляться вне зависимости от того, какими будут последствия для окружающей среды.

### **Солнечная энергия**

Рассмотренные выше геофизические источники энергии могут обеспечить в последующие десятилетия лишь незначительную часть потребностей в энергии и оказаться неприемлемыми для освоения в крупных масштабах. Органическое топливо, рассмотренное ранее, является невозобновляемым ресурсом, и его использование связано с нанесением значительного ущерба окружающей среде.

Необходимо располагать неисчерпаемым дешевым и возобновляемым источником энергии, не загрязняющим окружающую среду. Таким источником является Солнце. Поток солнечного излучения составляет около  $3,8 \cdot 10^{26}$  Вт и представлен всем спектром электромагнитных волн. Однако основная его масса приходится на ультрафиолетовую, видимую и инфракрасную части спектра. Энергетическая освещенность земной атмосферы составляет примерно  $1,4 \text{ кВт/м}^2$ , а поверхности Земли - около  $1 \text{ Вт/м}^2$ . Пока не существует экономичного способа преобразования этой энергии в электрическую. Проходят испытания нескольких установок для отработки такой технологии преобразования.

Наиболее подходящим направлением преобразования солнечной энергии в полезную работу является ее использование для замещения органического топлива при получении теплоты в парогенераторе. Однако, как и при применении органического топлива, КПД преобразования ограничивается диапазоном температуры рабочего тела, в данном случае — пара. Поскольку создание и эксплуатация очень крупных коллекторных систем для концентрации солнечных лучей является делом сложным, в настоящее время в таких системах удается получить пар, как правило, с относительно небольшой температурой. Как следствие, КПД преобразования солнечной энергии в электроэнергию в таких установках может составлять около 10%. Чтобы получить 1 ГВт электрической мощности, потребовалось бы 10 ГВт мощности солнечного излучения.

В создании системы таких масштабов и связанного с ней другого оборудования имеются определенные технические трудности. Кроме того, непомерно высока ее стоимость по сравнению с ТЭС на органическом топливе и даже АЭС. Подсчитано, что стоимость электроэнергии, производимой опытной солнечной установкой башенного типа в Барстоу, почти в 10 раз превышает стоимость электроэнергии, производимой ТЭС на органическом топливе.

Следует рассмотреть еще два «узких» места крупных солнечных электростанций – аккумулярование энергии и ее передача. Для обеспечения круглосуточного энергоснабжения от солнечной электростанции требуется обеспечить аккумулярование энергии.

Одним из вариантов является аккумулярование электроэнергии. Экономичность аккумуляторных батарей недостаточна высокая, и более приемлемым способом является сооружение гидроаккумулялирующих электростанций (ГАЭС). При этом избыточная электроэнергия, вырабатываемая в дневное время на солнечных электростанциях, может использоваться для подачи воды в верхнее водохранилище ГАЭС, а в ночное время эта вода срабатывается на обычной гидротурбине.

Обе рассмотренные системы аккумулярования энергии имеют недостатки – высокую стоимость и низкий КПД. Однако, ГАЭС уже широко используются в сочетании с ТЭС и АЭС, что говорит о целесообразности такого решения.

Возможен также вариант использования в качестве аккумулятора энергии реверсивного маховика, который можно было бы днем «закручивать», а ночью раскручивать в обратном направлении, как привод турбогенератора.

Все рассмотренные выше системы преобразования солнечной энергии могут быть названы непрямыми системами преобразования, поскольку в них энергия солнечного излучения преобразуется в электрическую энергию в несколько стадий. На этих стадиях неизбежны потери энергии, в частности на трение. Однако существует возможность непосредственного преобразования солнечной энергии в электрическую без использования промежуточных стадий. Теоретически КПД таких систем может быть очень высоким. Этот процесс, называется фотоэлектрическим преобразованием.

Здесь следует отметить, что в результате воздействия ряда



факторов фактический КПД фотоэлектрического преобразования получается довольно низким — от 0,05 до 15%. Кроме того, для обеспечения прохождения такого процесса преобразования требуются главным образом химически чистый кремний или арсенид галлия, трудоемкость производства которых очень высока, что делает их весьма дорогими.

В настоящее время появились два направления крупномасштабного использования принципа фотоэлектрического преобразования. Одно из них предусматривает использование искусственных спутников Земли, выведенных на геосинхронные орбиты и оборудованных солнечными панелями из фотоэлементов.

Вырабатываемая ими электроэнергия преобразуется в электромагнитные волны в микроволновом диапазоне частот и направляется на Землю. Приемная антенна площадью около 3 км<sup>2</sup> могла бы обеспечить прием мощности примерно 3 ГВт при интенсивности излучения 1 кВт/м<sup>2</sup>. Поскольку эта интенсивность близка к освещенности при солнечном излучении, в случае нарушений в системе микроволнового излучения существенного вреда не будет. Единственным биологическим эффектом микроволнового излучения, определенно установленным на сегодняшний день, является нагрев. Человек может продолжительно переносить воздействие теплового потока интенсивностью 10 Вт/см<sup>2</sup>, что примерно соответствует уровню энергии у приемной антенны. Однако считается, что необходимо проводить дальнейшие исследования биологического влияния микроволнового излучения. Следует отметить, что энергия микроволнового излучения при трансформации в полезную работу переходит во вторичную теплоту и, рассеиваясь, будет вызывать постепенное повышение температуры земной поверхности. О практической реализации этого направления в ближайшие годы еще рано говорить, поскольку созданные к настоящему времени преобразовательные устройства обладают очень малым КПД, а их масса и стоимость слишком велики.

Второе направление предусматривает монтаж сборных панелей солнечных фотоэлектрических элементов в малонаселенных и малоиспользуемых пустынных районах Земли. Реализация этого направления не приведет к дополнительному нагреву Земли, поскольку при этом сохраняется неизменным естественное солнечное излучение. Однако продолжительное использование солнечных панелей может вызвать даже в районе пустыни серьезные

экологические изменения, поскольку меняется альbedo поверхности данного района. В настоящее время ведутся исследования в этом направлении. Считается, что результаты будут экономически приемлемыми, если будут созданы установки с КПД преобразования примерно 30 % при удельной стоимости производства панелей с фотоэлементами не более 60 долл./м<sup>2</sup>.

Известны и другие направления использования солнечной энергии в крупных масштабах для производства электрической энергии. Одним из них является использование температурного градиента океана. Всем остальным направлениям присущ, по крайней мере, в настоящее время, один крупный недостаток: все они слишком дороги для того, чтобы их можно было широко использовать. Солнечную энергию для производства электроэнергии будут продолжать использовать в малых масштабах для специальных целей, например для энергообеспечения спутниковых систем. Несмотря на то, что солнечная энергия является возобновимым и неисчерпаемым источником энергии, по крайней мере, в обозримом будущем, для того чтобы этот источник смог заменить собой органическое топливо или ядерное горючее в производстве электроэнергии, потребуется технологический «прорыв».

Солнечная энергия может использоваться и используется для отопления как дополнение к традиционным видам энергоресурсов.

### **Ядерная энергия**

Если предположить, что начнется более широкое использование угля, то органических топлив, возможно, хватит на четыре-пять десятилетий для обеспечения потребностей человечества в энергии. После этого периода основным энергоресурсом может стать или не стать солнечная энергия. Практически уже сейчас ощущается необходимость иметь источник энергии на этот переходный период, причем этот источник должен быть практически неисчерпаемым, дешевым, возобновляемым и не загрязняющим окружающую среду. И хотя ядерная энергия не отвечает полностью, всем перечисленным требованиям, она продолжает развиваться. Вероятно, что именно она будет этим «переходным» источником энергии по той простой причине, что никакой другой вид энергии, который был бы столь же доступным, пока не найден.

Освобождение и использование ядерной (у нас в стране сложилось название «атомной») энергии является одним из крупнейших достижений науки в XX веке.

Это великое открытие, к сожалению, было, прежде всего, использовано в военных целях (вспомним о взрывах американских атомных бомб 6 и 9 августа 1945 г. над японскими городами Хиросимой и Нагасаки) и только позднее в мирных.

Современная атомная энергетика зиждется на экспериментально установленном факте деления тяжелых ядер элементов (урана, плутония, тория) в результате попадания в ядро нейтрона, благодаря чему развивается цепная реакция выделением огромного количества энергии (тепла).

Интересно отметить, что один из трех названных элементов — плутоний - практически на Земле не встречается. Это не помешало, однако, добытому в ядерных реакторах плутонию,  $^{239}\text{Pu}$ , стать наряду с ураном важнейшим ядерным топливом.

Важно заметить, что масса тяжелого ядра (урана, плутония или тория) до ядерной реакции несколько больше суммы, масс, получаемых в результате реакции продуктов реакции, г. е. мы имеем здесь дело с так называемым дефектом массы - явлением, связанным с огромным энерговыделением.

Ядерные реакции с огромным энерговыделением могут происходить и в результате синтеза ядер элементов, обладающих малым атомным весом, например изотопов водорода — дейтерия и трития. Но это уже термоядерная реакция.

Существенно отметить, что число нейтронов, являющихся истинными инициаторами реакции деления тяжелых ядер, в результате реакции увеличивается, во всяком случае, оно больше единицы. Это и создает возможность цепной реакции.

В настоящее время в качестве ядерного топлива в реакции деления ядер используются обогащенный природный уран и искусственно полученный плутоний. Что касается тория, то он пока не получил применения в ядерной энергетике, хотя его запасы, по-видимому, больше, чем урана, и многие специалисты рассматривают торий как перспективное ядерное топливо.

### **Производная энергия**

Как уже отмечалось, к производной энергии относятся энергоносители в виде пара, горячей воды (тепловой энергии), сжатого воздуха, электроэнергии, кислорода и др., которые широко используются в самых различных технологических процессах, а также в быту. Для их производства применяются, как правило, первичная энергия (топливо), а также соответствующие виды

производной (преобразованной) энергии. Для производства преобразованной энергии служат различные энергоисточники:

- традиционные (тепловые электрические станции - ТЭС, атомные (ядерные) электрические станции - АЭС, котлы, компрессорные установки и т.д.);
- установки на вторичных ресурсах (котлы-утилизаторы, тепловые насосы, холодильники и т.п.);
- нетрадиционные (альтернативные) - ветроэнергоустановки, биореакторы, гелиоподогреватели и др.

Работоспособность (или, иначе говоря, энтальпию, т.е. теплосодержание) любого из этих теплоносителей определяет сумма их внутренней энергии и потенциальной энергии источника.

Дадим краткую характеристику основных видов энергоносителей.

**Пар водяной.** Это вода в газообразном состоянии. Различают насыщенный пар, находящийся в термодинамическом равновесии с жидкостью (водой), и перегретый пар, имеющий температуру  $T_p$  больше температуры насыщения  $T_n$  для данного давления. Водяной пар - рабочее тепло паровых турбин и машин. Пар также широко используется как высокотемпературный теплоноситель для сушилок, термической обработки и др.

Для равновесной термодинамической системы существует функциональная связь между параметрами состояния, которая называется уравнением состояния. Такие параметры простейших систем, которыми являются газы, пары и жидкости, связаны соответствующим термическим уравнением состояния.

На основании теории, разработанной М.П. Вукаловичем и др., было получено численное уравнение состояния водяного пара, на основании которого составлены таблицы и диаграммы свойств водяного пара для различных температур и давлений. Эти диаграммы и таблицы нужны для практических расчетов всех теплоэнергетических процессов, в которых используется водяной пар.

**Вода.** Жидкость без запаха, вкуса, цвета, химическая формула  $H_2O$ . Плотность  $1000 \text{ кг/м}^3$  при температуре  $3,98^\circ\text{C}$ . При  $0^\circ\text{C}$  превращается в лед, при  $100^\circ\text{C}$  - в пар. Вода - обязательный компонент практически всех технологических процессов, как промышленных, так и сельскохозяйственных. Особенно широко вода применяется в теплотехнике как энергоноситель для производства и переноса тепловой энергии. В нашей стране с использованием

горячей воды разработаны и реализованы многочисленные централизованные системы теплоснабжения для отопления и горячего водоснабжения жилых, социальных и производственных зданий и технологических потребителей. Распространенный источник теплоснабжения - теплоэлектроцентрали (ТЭЦ) и отопительные и производственно-отопительные котельные.

**Электрическая энергия (электричество).** Определяют как совокупность явлений, в которых проявляется существование, движение и взаимодействие (посредством электромагнитного поля) заряженных частиц. Электрическая энергия имеет ряд неоспоримых преимуществ по сравнению с другими видами производной энергии - возможность получения практически любых количеств энергии как от элемента размером со спичечную головку, так и от турбогенераторов мощностью более 1000 МВт, сравнительная простота ее передачи на расстояние и легкость преобразования в энергию других видов. Основная проблема - это ее хранение. Здесь возможности ограничены.

## 2. Технологические схемы производства энергии

Практически всё **энергетическое топливо** используется для получения тепловой энергии в виде пара и горячей воды. Исключение составляет топливо, которое применяется в системах печного, калориферного отопления, а также в газовых горелках инфракрасного излучения, когда продукты сгорания природного газа поступают непосредственно в отапливаемое помещение.

Устройства, предназначенные для получения пара или горячей воды повышенного давления за счет теплоты, выделяемой при сжигании топлива, или теплоты, подводимой от посторонних источников (обычно с горячими газами), называют **котлами**. По производимой продукции они делятся на паровые и водогрейные. Котлы, использующие (утилизирующие) теплоту отходящих из технологических печей газов или других основных и побочных продуктов, называют **котлами-утилизаторами**. С целью обеспечения стабильной и безопасной работы котла предусматривается установка вспомогательного оборудования, предназначенного для подготовки и подачи топлива, подачи воздуха, подготовки подачи воды, отвода продуктов сгорания топлива и их очистки от золы и токсичных примесей, удаления золошлаковых остатков топлива. В зависимости

от вида сжигаемого топлива и других условий некоторые из указанных элементов могут отсутствовать. Котлы, снабжающие паром турбины, называют **энергетическими**. Для снабжения паром производственных потребителей и отопления зданий разработаны специальные **производственные и отопительные котлы**.

В качестве источников тепла для котлов используются природные и искусственные топлива, отходящие газы технологических печей и других устройств, ядерная энергия, а также возобновляемые источники энергии - солнечная энергия, ветер, вода рек и др. Значительная часть тепловой энергии превращается в электричество на специальных производственных комплексах - электрических станциях. Энергию водного потока преобразовывают в электричество на гидроэлектростанциях (ГЭС). Водный поток вращает рабочее колесо турбины, которое соответственно приводит в движение ротор генератора, вырабатывающего электрический ток. На тепловых электростанциях (ТЭС) турбины вращает пар, вырабатываемый в котлах. На ТЭС производится в мире до 70-80% электроэнергии. В настоящее время кроме паровых турбин на ТЭС используются газотурбинные установки. Получают распространение и электростанции с двигателями внутреннего сгорания на самых различных видах топлива - дизельное, природный газ, биогаз и др.

Коэффициент полезного действия современных ТЭС с паровыми турбинами достигает 40%, с газовыми турбинами пока не более 37%. Освоены также комбинированные установки с паровыми и газовыми турбинами (парогазовые установки - ПГУ) мощностью 250 МВт. Коэффициент полезного действия ПГУ может достигать 43%. В системе ПГУ топка парогенератора работает под давлением, а уходящий газ направляется в газовую турбину. Атомные электростанции (АЭС) также имеют паротрубный привод электрогенератора и отличаются от традиционных ТЭС лишь типом парогенератора. В целом по всему миру АЭС вырабатывают до 16 % электроэнергии.

### **3. Отраслевое энергосбережение**

Схемы энергоснабжения в большинстве своем одинаковы для предприятий самого различного назначения. На любом промышленном предприятии имеются насосы, вентиляторы, компрессоры и другое оборудование. Здесь рекомендации по энергосбережению можно считать достаточно универсальными. Но у

каждой промышленной отрасли имеется свой, присущий только ей, набор технологического оборудования. Поэтому технология энергоиспользования в зависимости от вида выпускаемой продукции может значительно изменяться.

### **Характеристики основных конструкционных материалов**

Один из основных видов производственной деятельности – это производство конструкционных материалов. В подавляющем большинстве случаев здесь определяется величина энергетической составляющей в себестоимости производства продукции. В таблице представлены сравнительные данные по:

- мировым объемам производства основных конструкционных материалов;
- удельной прочности этих материалов;
- затратам энергии на производство материалов с учетом их удельной прочности;
- стоимости единицы удельной прочности материалов.

Все показатели приведены относительно стали (данные для стали приняты за единицу).

*Таблица 3.1*

#### **Показатели производства основных конструкционных материалов**

<b>Материал</b>	<b>Приведенные объемы мирового производства, млн. т/год</b>	<b>Условная прочность материалов относительно стали*</b>	<b>Затраты энергии на производство материалов, отнесенные к затратам на сталь</b>	<b>Стоимость единицы удельной прочности материалов, отнесенные к стали</b>
Стальной прокат	100	1,0 (1,0)	1,0 (0,3)	1,0 (1,0)
Железобетон	90	0,1	1,15	0,2-0,3
Пиломатериалы	50	0,05	0,12	0,1
Полимеры	5,5	0,13-0,21	4-7	~5,5

Окончание табл. 3.1

Материал	Приведенные объемы мирового производства, млн. т/год	Условная прочность материалов относительно стали*	Затраты энергии на производство материалов, отнесенные к затратам на сталь	Стоимость единицы удельной прочности материалов, отнесенные к стали
Алюминиевый прокат	2,5	0,8 (0,52)	5 (0,3)	~4
Медный прокат	1,0	0,8 (0,6)	4,5 (0,6)	~6

*Примечания:*

1. \* Превышение расходов ТЭР на единицу продукции в стране по сравнению со среднемировыми показателями: стальной прокат – 1,5-2 раза; полимеры – 1,5-3 раза; алюминиевый прокат – 1,3 раза; медный прокат – до 2 раз; огнеупоры – 2 раза.

2. В скобках указаны данные для металлов, полученных из вторичного сырья (лома).

Анализ представленных данных показывает, что основные конструкционные материалы в настоящее время: сталь (черные металлы), железобетон, пиломатериалы. Полимеры могут составить им конкуренцию, если будут найдены пути снижения затрат энергии на их производство. Относительно низкие объемы производства полимеров объясняются еще тем, что 1 тонна этого материала при определенных условиях заменяет не менее 3 тонн рядового металла. Производство цветных металлов из первичного сырья по энергоемкости, в большинстве своем, выше стали в 4-6 раз. Затраты энергии значительно ниже в случае использования для производства металлов вторичного сырья. Стоимость единицы удельной прочности материалов практически пропорциональна затратам энергии на их производство.

Превышение энергоемкости отечественной продукции над среднемировыми показателями в 1,5-3 раза напрямую определяет существенный рост стоимости изделий страны промышленности по сравнению мировыми ценами.

Это положение определяет тот факт, что на производство и обработку металлов в нашей промышленности приходится более половины энергозатрат из общего их промышленного потребления. Соответственно, доля продукции общего машиностроения и



металлообработки в валовом внутреннем продукте (ВВП) страны является наиболее весомой, а поэтому влияние ее энергоемкости на ВВП является определяющим. Вызвано это во многом тем, что энергоемкость изделий машиностроения не менее чем на 70% определяется энергозатратами на предыдущих этапах производства.

В этой ситуации возможности продукции машиностроения во многом определяются энергетическими проблемами металлургической и химической промышленности, которые, на наш взгляд, следует решать за счет реализации следующих задач:

- дальнейшее развитие производства марочной и качественной продукции с пониженными удельными энергозатратами на их производство;

- снижение объемов и затрат на производство рядового металла за счет энергосбережения и повышения доли вторичного сырья при его изготовлении;

- поиск путей снижения затрат энергии на производство полимеров.

Следовательно, в зависимости от решений, которые будут приниматься и реализовываться руководством соответствующих холдингов и предприятий, производящих исходные материалы, во многом будет зависеть динамика технического и экономического уровня развития машиностроительного комплекса и промышленного производства в целом.

Такое состояние с энергоемкостью металлургической продукции диктует необходимость целенаправленной энергосберегающей политики.

### **Некоторые общемировые тенденции по экономии энергии в металлургии**

Одна из особенностей настоящего времени во всем мире – ресурсы высококачественных руд быстро сокращаются. Возможно, что этот вид минерального сырья использован практически полностью. В этой ситуации заметно растет расход энергии на добычу бедной руды, ее очистку, обогащение с целью получения концентратов с достаточно богатым содержанием необходимого металла. В настоящее время это особенно характерно для трех основных конструкционных металлов – железа, алюминия и меди.

Для подготовки исходной руды к плавке (железная руда, глинозем, медные руды) необходимо наличие ресурсов дешевой электрической энергии. Пожалуй, наиболее характерно это для медной руды, которая подлежит переработке, если в ней содержится около 0,2% меди. Обогащение выполняется до получения концентрата, содержащего около 25% меди.

Любой процесс обогащения связан с дроблением, измельчением руды с последующей флотацией. Для ряда железных руд возможно использование магнитных средств. Поэтому последние 20-30 лет в мировой практике шел интенсивный поиск методов обогащения руд, с целью снижения расхода энергии.

В черной металлургии из этих методов можно назвать:

- Катионная (ионная) флотация кремнезема из руды;
- Флокуляция (агломерация) железа перед флотацией (выводом твердых частиц на поверхность воды);
- Обжиг немагнитных руд с целью превращения в магнитные;
- Замена железорудного агломерата на окатыши и др.

В алюминиевой промышленности кроме традиционных методов пытаются использовать выщелачивание глинозема соляной кислотой, азотной кислотой, хлорирование, использование электротермических процессов и т.д. Для металлургической промышленности индустриально развитых стран характерно то, что в этих странах существует неуклонное снижение удельных расходов энергии на 1 т произведенной продукции, примерно по 1-1,5% в год.

К настоящему времени полная энергоемкость металлургической промышленности в среднем мировом измерении примерно составляет кг у.т./т продукции:

- Медь – 5000
- Сталь – 750-850
- Алюминий – 7000
- Огнеупоры – 220.

Другая очень характерная особенность в развитии металлургической промышленности западных стран – это массовое использование передовых энергосберегающих технологий. Покажем

это на примере технологий, получивших широкое развитие в западных странах:

- Непрерывная разливка стали дает снижение удельного расхода энергии на производство стали на 20%;
- Сухое тушение кокса. В зарубежной практике мокрое тушение кокса практически отсутствует;
- Испарительное охлаждение металлургических агрегатов. Снижает расход энергии в 2-3 раза по сравнению с оборотной (открытой) схемой охлаждения;
- Газовые бескомпрессорные турбины – ГУБТ, использующие избыточное давление доменного газа для производства электроэнергии.

### **Направления энергосбережения в металлургии**

Технологические процессы в большинстве своем отличаются повышенным удельным расходом энергии, поэтому на пути энергосбережения можно выделить тактические и стратегические шаги.

Стратегические подходы связаны, как правило, с реконструкцией производства, внедрением новых энергосберегающих технологических процессов. В этом плане в нашем регионе следует отметить ряд положительных результатов. Введен современный цех катанки. Реализуются целевые комплексные программы энергосбережения, проводится стимулирование экономии электроэнергии. Большое внимание уделяется на всех заводах черной металлургии повышению качества металла за счет установки вакууматоров, использования четвертого передела. Реализуется целевая образовательная программа по энергосбережению, которая корректируется с учетом особенностей конкретного предприятия.

К тактическим можно отнести организацию учета расходования энергоресурсов на разных уровнях, в том числе и на отраслевом. К другим шагам данного уровня следует отнести организационные и режимные мероприятия.

Основные резервы экономии энергоресурсов в металлургии заключены в реализации или дальнейшем развитии следующих направлений:

– Комплексное использование сырья. Это реальный путь снижения энергозатрат в горнодобывающем переделе;

– Более широкое использование техногенных ресурсов, в первую очередь отходов. Необходимо развитие сложившейся технологической цепочки «руда – металл – отходы» еще одним переделом – переработка;

– Дальнейшее увеличение производства проката с улучшенными прочностными и защитными свойствами и расширение его ассортимента;

– Более полное использование ресурсов лома и вторичного сырья;

– Перевод существующих производственных заводских котельных на комбинированную выработку тепловой и электрической энергии;

– Развитие рекуперативного теплообмена в топливо-потребляющих технологических установках;

– Снижение тепловых потерь при производстве преобразованных видов энергии, в том числе за счет использования вторичных энергоресурсов.

Современное состояние металлургии в мире можно охарактеризовать, в первую очередь, острой конкурентной борьбой за рынки сбыта, за выгодные тарифы на услуги и продукцию естественных монополистов. Большое влияние на развитие металлургии оказывает динамика цен на первичное топливо, энергетическое и технологическое (коксуемый уголь, природный газ).

Поэтому можно прогнозировать, что в обозримом будущем металлургия будет решать две задачи:

1. Производство марочной и качественной продукции;
2. Снижение затрат на производство продукции и, в первую очередь, за счет освоения энергосберегающих технологий.

От того, как будут решаться эти взаимосвязанные задачи, будет зависеть будущее металлургии страны.

## Энергоемкость металлургической продукции

Практически на каждый вид сырьевого ресурса, полуфабриката, конечной продукции разработаны нормы расхода топлива, тепловой, электрической энергии. Особенность всех этих видов норм в том, что они определяют уровень удельного показателя расхода энергии на данном конкретном переделе, в конкретном технологическом процессе, которых в металлургии десятки и даже сотни. Разработка этих многочисленных норм производственной энергоемкости осуществляется одним из трех методов: опытным (определение удельных затрат энергии по данным испытаний), расчетно-аналитическим (определение норм расчетным путем по статьям расхода с учетом лучших показателей использования этих ресурсов в производстве) и расчетно-статистическим (выявление норм расхода на основе анализа статистических данных).

Последний (расчетно-статистический) метод разработки норм расхода энергии получил на практике самое широкое распространение. В результате длительное время в большинстве отраслей нашей промышленности сохраняется схема, при которой устанавливаются, корректируются нормы расхода энергоресурсов без анализа всех возможностей по снижению удельных расходов энергии.

Другой недостаток системы контроля за уровнем удельных расходов по переделам – отсутствует возможность системного подхода при оценке сквозного расхода энергии на тот или иной технологический процесс по всем звеньям технологической цепи данного производства, также и во взаимосвязанных производствах.

Действительно, общий расход энергии на производство металлургической продукции зависит от многих факторов. Так, повышение единичной мощности и экономичности работы энерготехнологических агрегатов, внедрение ряда новых технологических схем, интенсификация металлургических процессов приводят к уменьшению затрат энергии, а постоянный рост валового производства, структурные изменения на предприятии и недостатки в использовании топлива обычно вызывают увеличение этих затрат.

Суммарные энергетические затраты на производство одной тонны металлургической продукции снижаются, например, при увеличении полезного объема доменных печей, выплавке стали в дуговых электропечах, в непрерывной разливке стали, более широком использовании кислорода. И наоборот, эти затраты растут с

однобоким развитием конвертерного производства, увеличением числа переделов, усложнением и улучшением качества проката.

Как показывают расчеты, суммарные энергетические затраты существенно повышаются при увеличении доли жидкого чугуна и снижении доли лома в сталеплавильном переделе. Наименьшие суммарные энергетические затраты на выплавку стали – в дуговых электропечах, далее в порядке возрастания этих затрат следуют: доменная печь – мартеновская печь (скрап-процесс); доменная печь – кислородный конвертер.

Таким образом, вопросы улучшения энергоиспользования и снижения удельных расходов энергии на единицу готовой продукции представляют собой комплексную проблему, для решения которой, как уже отмечалось, требуется системный подход, а также анализ влияния разнообразных определяющих факторов.

В основу одного из вариантов такого подхода положен метод энергетического анализа, который предусматривает сквозной расчет затрат энергии по всей технологической цепи, вплоть до готовой, реализуемой продукции. Сквозной расчет затрат энергии дает возможность выявления значений отраслевых суммарных затрат топлива и других видов энергии во всех предшествующих переделах внутри данной отрасли. Эти суммарные затраты энергии и будут составлять энергоемкость конкретного готового конечного или одного из промежуточных видов продукции.

Под полной энергоемкостью изготовления продукции понимаются затраты топлива и других видов энергии (пересчитанных на топливо, необходимое для их получения) в данном и во всех предшествующих переделах технологического процесса (с соответствующими расходными коэффициентами) в килограммах условного топлива на единицу продукции, за вычетом тепловых, топливных, материальных и других вторичных ресурсов. Энергия вторичных ресурсов рассчитывается по количеству первичной энергии, которая фактически экономится при их использовании, на единицу произведенной продукции.

Для сравнения в таблице приведены данные по энергоемкости и по усредненным удельным расходам энергии (топлива, электроэнергии) на отдельные виды продукции в черной металлургии. Из таблицы видно, что чем больше переделов (ступеней производства) предшествовало получению готового

проката, тем больше разница между энергоемкостью и удельным расходом энергии на производство этого продукта на заключительной (или основной) стадии.

Таблица 3.2

Сравнение полной энергоемкости и удельного расхода топлива на отдельные виды продукции

Вид продукции	Полная энергоемкость, кг у.т. на единицу продукции	Удельный расход топлива, кг у.т. на единицу продукции
Теплоэнергия, Гкал	188	177
Электроэнергия, кВт·ч	0,42	0,35
Сжатый воздух, 1000м <sup>3</sup>	45	–
Кислород, 1000 м <sup>3</sup>	278	–
Вода, 1000 м <sup>3</sup>	105-263	–
Доменное дутье, 1000 м <sup>3</sup>	91,5	56,3
Железная руда, т	0,4-9,6	–
Концентрат железной руды, т	1,0-65,9	–
Агломерат, т	143,0-175,5	89,2-110,3
Окатыши, т	171	92,3 (69,3 кВтч)
Кокс, т	1303,3	1185,4
Чугун, т	1062,8	652,3
Электросталь, т	509	–
Мартеновский скрап-процесс, т	762	222,3
Мартеновский скрап-рудный процесс, т	880	106,9
Кислородно-конвертерный процесс, т	1198	20
Прокат, т	1300-2000	100-350
Изделия машиностроения (детали из черных металлов)	2500-3500	–

### Потенциальные возможности энергосбережения

Потенциальные возможности энергосбережения при соответствующей организации технологических процессов показаны ниже.

Из среднетратных мероприятий по ряду других производств черной металлургии приведем здесь следующие.

**Коксохимическое производство.** Термическая подготовка угольной шихты. Угольная шихта предварительно нагревается до 150-200°С. Для нагрева следует шире использовать отходящие газы установок сухого тушения кокса или раскаленный кокс, выдаваемый из коксовых печей. Термоподготовка шихты позволяет увеличить производительность коксовых батарей и снизить расходы тепловой энергии. Автоматизация системы управления процессом горения топлива при отоплении коксовых печей дает экономию энергии 42 МДж теплоты на 1 т кокса. Более широкое применение установок сухого тушения кокса и получаемой при этом теплоты для производства пара энергетических параметров. Использование теплоты отходящих от батарей дымовых газов для нагрева воды, отопления и других коммунально-бытовых целей.

**Прокатное и трубное производство.** Повышение температуры слитков, подаваемых в нагревательные колодцы, до 800-830°С и увеличение доли горячего посада до 90-98% сокращает расход топлива на 4-5 кг на тонну проката. Подача горячего металла в методические печи транзитом от обжимных заготовочных станов уменьшает расход топлива на 15-60% относительно расхода при холодном посаде. До 15-20% теплоты, подаваемой в печь с топливом, отводится системой охлаждения конструктивных элементов печи. Около 90% теплоты, воспринимаемой охлаждаемыми элементами печи, приходится на долю подовых труб (балок). Применение испарительного охлаждения позволяет практически полностью утилизировать эту теплоту. Количество теплоты, воспринимаемой подовыми трубами, может быть сокращено за счет их теплоизоляции и уменьшения площади обогреваемой поверхности. Достичь этого можно путем увеличения шага между трубами. При оптимальном уменьшении площади поверхности подовых труб снижение удельного расхода топлива на нагрев металла достигает 10%. Термоизоляция подовых труб, выполняемая из огнеупорных волокнистых материалов, позволяет сократить расход топлива на 18-25% и повысить производительность печи на 15%.

Температура отходящих газов нагревательных печей достигает 900-1000°С, причем 40-60% теплоты, выделяемой при сгорании топлива, отводится с продуктами сгорания. Для утилизации этой теплоты следует применять нагрев отводящими газами подводимого воздуха для сжигания топлива, нагрев газового топлива,



предварительный нагрев металла, загружаемого в печь. При подогреве металла отходящими газами расход топлива может быть сокращен на 15%. Нагрев воздуха, подаваемого в печь, отходящими газами на 100 °С дает экономию топлива 4-5 кг/т проката. Оптимизация работы печей с использованием автоматики позволяет снизить расход топлива на 15-20 кг/т. Внедрение технологии нагрева слитков в нагревательных колодцах слябингов с отоплением из центра пода с импульсной подачей топлива сокращает расход топлива на 13-16%. Установка теплообменников для утилизации тепла на выходе из радиантных труб повышает степень использования топлива на 25-30%. Применение рекуператоров для использования теплоты после колпаковых печей снижает расход топлива на 16-20%. Физическая теплота отходящих газов нагревательных печей и колодцев должна использоваться для выработки пара в котлах-утилизаторах.

**Огнеупорное производство.** Замена печей устаревших конструкций (кольцевых, газокамерных, периодических) современными рекуперативно-обжигowymi агрегатами (туннельными, вращающимися, шахтными печами) позволяет сократить расход топлива с 370 до 240 кг/т. Совершенствование горелочных устройств печей уменьшает расход топлива на 5-10%. Применение кислорода при сжигании топлива во вращающихся печах снижает расход топлива на 30-35%. Использование отходящих газов для подогрева кусковых материалов дает снижение расхода топлива на 10-20%. Утилизация теплоты в котлах-утилизаторах и водяных экономайзерах уменьшает расход топлива на 10-30%.

**Цветная металлургия.** В свинцовом и медно-цинковом производстве применение кивцетной плавки приводит к снижению удельных расходов топлива на 20-50%. При внедрении автогенной плавки медно-никелевого сырья в агрегате непрерывного действия удельный расход электроэнергии снижается более чем в 2 раза. Бездиафрагменные электролизеры уменьшают удельный расход электроэнергии при получении магния на 8-10%, а закрытые рудно-термические печи (с оптимизацией режимов плавки в ней) – на 5-7%. Для снижения расходов органического топлива целесообразно повысить долю плавки в электропечах взамен плавки в шахтных и отражательных печах, на которые в настоящее время приходится соответственно 15-25 и 40-50% общего производства. В производстве

алюминия переход на электролизеры с обожженными анодами обеспечивает снижение удельного расхода электроэнергии на 5-7%.

Один из крупных потребителей тепловой энергии в цветной металлургии – производство глинозема. Для снижения расхода энергоресурсов в этом производстве рекомендуются следующие мероприятия: перевод печей спекания и кальцинирования на сжигание природного газа, внедрение рекуперативных холодильников (циклонного или «кипящего» слоя), повышение степени регенерации тепловой энергии в автоплавильных установках выщелачивания и обескремнивания, увеличение кратности использования пара в выпарных батареях, внедрение водоподогревателей контактного типа. Выполнение этих мероприятий позволит снизить удельные расходы топлива на 20-25% и тепловой энергии в 1,5-2 раза.

До 10% расходов энергоресурсов можно снизить за счет автоматизации технологических процессов с помощью ЭВМ.

Ниже в табл.3.3 приведены средние удельные расходы электроэнергии (кВт·ч/т) на некоторые виды продукции предприятий цветной металлургии:

Таблица 3.3

Удельные расходы электроэнергии по виду продукции предприятий цветной металлургии

Медь черновая	760
Медь рафинированная	415
Никель электролитный	3500 – 6400
Никель огневой	17200
Цинк электролизный	3700 – 4300
Свинец	500
Глинозем	700
Алюминий – сырец	17200
Алюминий высокой частоты	20000
Электролиз:	
Магния	17000
Меди	3000
Марганца	8000

Окончание табл. 3.3

Натрия	15000
Лития	66000
Кальция	5000
Рафинирование:	
Свинца	150
Золота	300
Серебра	500
Олова	190

### Энергосбережение в химической и нефтехимической промышленности

В таблицах приведены данные по удельным расходам топлива и теплоэнергии, и удельные расходы электроэнергии на некоторые виды химической и нефтехимической продукции.

Таблица 3.4

Удельные расходы топлива и теплоэнергии на некоторые виды химической и нефтехимической продукции

Вид продукции	Удельный расход топлива, кг у.т./т	Удельный расход теплоэнергии, МДж/т
Химические волокна и нити:		
– вискозные искусственные	970,07	63458
– лавсановые	191,4	31134
Полиэтилен ВД	–	12213
Полиэтилен НД	–	9496
Полипропилен	–	25758
Диметилтералтолат	215,5	15270
Стеклопластики	–	14315
Стеклошарики	1024	–
Фосфатные удобрения	297,2	–
Сода кальцинированная	129,7	–
Калийные удобрения	28,4	–
Синтетические смолы и пластмассы	–	21237
Аммиаксинтетический этилен	–	4154
Этилен	1000	24000-420000
Окись этилена	50-75	8000-10000
Кислород газообразный	–	200 МДж/ 1000м <sup>3</sup>
Каучук синтетический и латексы	1319	118712

Таблица 3.5

Удельные расходы электроэнергии на некоторые виды химической и нефтехимической продукции

Вид продукции	Удельный расход, кВт · ч/т		
	По различным источникам		
Сода каустическая	2800-4000	–	2300-2700
В том числе:			
- ртутным методом	4000	–	–
- диафрагменным методом	3020	–	–
Сода кальцинированная	153	–	75-90
Спирт бутиловый и этиловый	1350	1000-1450	–
Серная кислота	106-134	–	60-100
Аммиак конверсионный	1 700-2000	–	750-2000
Аммиак электролитический	13600	–	12000-14000
Метанол	1430	–	–
Полихлорвиниловая смола	654	–	–
Пластмассовые изделия	2823	–	2800
Стекловолокно	5837	5800	–
Целлофан	2940	2240-2900	2500
Сероуглерод	399-537	–	–
Химические волокна	4953	4900-5200	–
Синтетические волокна, в том числе:			
- шелк вискозный	5800-8900	–	6000-11000
- - шелк капроновый	9700-12400	–	12500-14300
- - шелк ацетатный	6819	–	5900-6800
- - шелк триацетатный	7490	–	–
- - шелк хлориновый	2430	–	–
- шелк анид для корда и технических изделий	4965	–	–
- шелк капроновый для корда и технических изделий	5660-8820	–	–
- шелк лавсан для корда и технических изделий	9930	–	–
- штапель вискозный	2400-3740	–	2000-3800
- штапель капроновый	2650-3300	–	–
- штапель лавсан	3600	–	–
- прочие виды химических волокон	4900	–	–
Азот	218	350	–
Азотная кислота	120-330	–	130-150
Карборунд	10000-12000	–	–
Каучук синтетический, в том числе:	1000-2643	–	–
СКСМ	2200-2650	–	–
СКД	2055	–	–
СКН	1691	–	–
БК	21419	–	–
СКИ	3615	–	–

Продолжение табл. 3.5

Вид продукции	Удельный расход, кВт · ч/т		
	По различным источникам		
Прочие виды каучука	1551	–	–
Соляная кислота	10-40	–	100
Уксусная кислота	233-264	–	1400
Фосфорная кислота	192-247	–	–
Хлор	3000-4000	–	1900-2000
Фосфор электровозгонный	15980	–	5000-6000
Этилен	1460	–	–
Водород	6780	–	–
Сера	141-185	–	–
Карболит	207-340	–	–
Аммиачная селитра	25—49	–	–
Калийные удобрения	200	–	–
Синтетические смолы и пластмассы, в том числе:	1283	–	–
- карбамидные смолы	84	–	–
- демитилфталат	1592	–	–
- полиэтилен высокого давления	1680-2340	–	–
- ацетат целлюлозы	1475	–	–
- ионно-обменные смолы	2300	–	–
- поливинилацетатная эмульсия	139	–	–
Ацетилен	4040	–	–
Латексы	2660	–	–
Дивинил товарный	3160	–	–
Фосфор желтый	15570-16000	–	–
Моющие средства	334	–	–
Сухие моющие средства	209	–	–
Жидкие моющие средства	220	–	–
Метилстирол	1140	–	–
Стирол	136	–	–
Окись этилена	-	400-500	–
Полистирол	2610	–	–
Щетина капроновая	3910	–	–
Фосфорная мука	22-50	–	–
Резина товарная	470	–	–
Ковры автомобильные	350	–	–
Клей резиновый	450	–	–
Капролактам	3160-5230	–	1350
Губка вискозная	60	–	–
Жидкое стекло	70	–	–
Сухой лед	940	–	–
		Удельный расход, кВт-ч/ 1000м <sup>2</sup>	
Ткань кордная вискоза	1050	–	–

Окончание табл. 3.5

Вид продукции	Удельный расход, кВт · ч/т		
	По различным источникам		
Ткань анидная кордная	120	–	–
Ткань корундная	357-546	–	–
Ткань прорезиненная	55	–	–
Линолеум	1400	–	–
	Удельный расход, кВт · ч/1000м <sup>3</sup>		
Производство кислорода	880-1300	–	–
	Удельный расход, кВт · ч/1000 шт.		
Автопокрышки	37000	37000-39000	37000
	Удельный расход, кВт · ч/усл. ед.		
Резино-технические изделия	332	210-330	220-300
	Удельный расход, кВт · ч/1000 пар		
Обувь резиновая	1030	–	–

Наиболее энергоемко производство в основном 14 продуктов: аммиака, каустической соды, химических волокон, желтого фосфора, пластмасс, метанола, капролактама, ацетата, хлора, этилена, дивинила, полиэтилена. Поэтому при решении вопросов энергосбережения надо в первую очередь уделять внимание этим производствам. Основными проблемами энергосбережения на предприятиях химической промышленности являются: совершенствование существующих технологических процессов и оборудования в производствах кальцинированной и каустической соды; внедрение крупных агрегатов по производству метанола; использование газо-фазного метода полимеризации этилена в производстве полиэтилена; совершенствование и укрупнение единичной мощности агрегатов в производстве химического волокна; развитие мембранной технологии разделения жидких и газообразных сред; разработка и внедрение производства хлора и каустической соды в мембранных электролизерах; увеличение доли диафрагменного метода в производстве каустической соды: применение высокоактивных катализаторов; производство ацетальдегида прямым окислением этилена кислородом; широкое внедрение автоматизации технологических процессов.

В промышленности синтетического каучука снижение расхода энергии может быть достигнуто внедрением новых технологических схем с меньшими удельными расходами энергоресурсов, абсорбционных машин и реконструкцией существующих технологических схем с применением новых высокоэффективных

катализаторов и др.

В шинной промышленности значительной экономии энергии можно добиться за счет повышения загрузки технологического оборудования, снижения брака и возвратных расходов, сокращения режимов вулканизации, широкого внедрения автоматизации в процесс приготовления резиновой смеси, внедрение микроволнового нагрева и др.

Отличительной особенностью предприятий химической промышленности является то, что большое количество используемых энергоресурсов позволяет покрыть 50% собственных нужд в теплоте. Для решения данной проблемы необходима разработка и реализация комбинированных энерготехнологических систем (КЭТС), органически связывающих энергетическую и теплоэнергетическую системы с целью обеспечения наиболее высокой экономической эффективности выработки заданных уровней энергетической и технологической продукции. Исходными предпосылками для создания КЭТС служат принципы предельного энергосбережения. Под *предельным энергосбережением* понимается экономически обоснованное минимально возможное энергопотребление на единицу готовой продукции, т. е. с учетом неизбежных потерь, связанных с необратимостью тех или иных процессов и затрат на создание и эксплуатацию термодинамически совершенных отдельных агрегатов и систем в целом. На основе термодинамического анализа процессов определяются минимально необходимые затраты энергии на их реализацию. В большинстве случаев эффективным является эксергетический метод оценки термодинамического совершенства отдельных процессов, агрегатов и систем. Сложность проведения эксергетического анализа заключается в правильном учете влияния изменений термомеханической и химической эксергии на оценку термодинамического совершенства, так как зачастую химическая эксергия во много раз превышает термомеханическую. В химических технологиях многие процессы протекают с выделением или поглощением теплоты, температурный уровень определяет как количество, так и качество получаемого продукта. Поэтому определение количества и качества энергоресурсов, выделяющихся в технологических процессах, является важным шагом для разработки КЭТС.

Синтез теплотехнологических систем целесообразно проводить

на основе максимальной рекуперации теплоты в самих системах. Анализ уже решенных задач синтеза оптимальных систем теплообмена показывает, что основная статья приведенных годовых затрат - это эксплуатационные затраты на догрев и доохлаждение потоков до заданных температур во внешней системе теплообмена. Эти затраты существенно превышают затраты на внутреннюю систему теплообмена. Поэтому системы, синтезированные по максимуму рекуперированной теплоты, оказываются наиболее экономичными. Разработка теплоэнергетических систем производится на основе энергетического баланса (ЭБ) предприятия и определения потребностей в различных видах энергоресурсов. Создание теплоэнергетических систем и КЭТС с минимальным энергопотреблением возможно только на базе максимального использования внутренних энергоресурсов теплотехнологий. В системах отопления, вентиляции, горячего водоснабжения непосредственное использование низкопотенциальной теплоты и теплонасосных установок является обоснованным, так как энергетическая эффективность таких систем в ряде случаев достаточно высока, особенно при наличии дешевых источников для привода компрессоров. Перспективно использование низкопотенциальной теплоты в системах термического обессоливания воды, получения искусственного холода.

### **Энергосбережение в нефтеперерабатывающей промышленности**

В таблицах приведены удельные расходы топлива, тепловой энергии и электрической энергии по некоторым установкам и выпускаемой продукции предприятий нефтепереработки.

*Таблица 3.6*

#### Удельные расходы топлива и теплоэнергии по некоторым установкам предприятий нефтепереработки

Наименование установки	Удельный расход топлива, кг у.т./т	Удельный расход теплоэнергии, МДж/т
Первичная переработка	30,3	82,8
Гидрокрекинг	173,2	81,3
Термический крекинг	48,4	96,4
Каталитический крекинг	54,6	207
Каталитический крекинг на облагораживание	94,7	136
Производство масел	212,0	2763



Окончание табл.3.6

Наименование установки	Удельный расход топлива, кг у.т./т	Удельный расход теплоэнергии, МДж/т
Коксование	75,6	222
Гидроочистка топлива	25,0	17,5

Основными способами снижения расходов энергоресурсов в нефтепереработке являются:

- применение ЭВМ для управления технологическими процессами;
- повышение эффективности утилизации сбросной теплоты;
- увеличение КПД печей;
- увеличение КПД дистилляционной установки путем использования дополнительных стадий;
- усовершенствование тепловых насосов;
- использование низкопотенциальной сбросной теплоты для теплоснабжения (дает экономию топлива до 20%).

Таблица 3.7

Удельные расходы электроэнергии по некоторым установкам предприятий нефтепереработки (в среднем по отрасли)

Наименование процесса	Удельный расход, кВт · ч · т		
	По различным источникам информации		
Переработка нефти	31,3	29,5	–
Первичная переработка нефти	14,5	13,8	–
Термический крекинг нефти	14,8	13,9	11-15
Каталитический крекинг нефти	59,6	60	60
Каталитический риформинг	83,4	80	–
Производство катализатора	2368	2100	–
Пиролиз нефти	20,5	19	–
Коксование	30,4	27	30-40
Производство масел	284	295	–

### Энергосбережение в машиностроении

Из всех потребляемых энергоресурсов на машиностроительных предприятиях около 30% расходуется на чисто технологические процессы и около 70% - на ТЭЦ, котельные, вентиляцию, освещение,

выработку сжатого воздуха, внутривоздушной транспорт и прочие вспомогательные нужды. Энергоемкими производствами в машиностроении являются: кузнечное, литейное, термическое и гальванопокрытий. Сложность энергосбережения на машиностроительных предприятиях заключается в большой номенклатуре выпускаемой продукции и отсутствии удельных норм расхода энергоресурсов на выпуск продукции. Поэтому показателями эффективности использования энергоресурсов для предприятий машиностроительного комплекса могут стать следующие:

- 1) энергоемкость продукции  $\beta_{эн.п}$  (кг у.т./руб.);
- 2) электроемкость продукции  $\beta_{эл.п}$  (кВт · ч/руб.);
- 3) теплосъемкость продукции  $\beta_{т.п}$  (ГДж/руб. или Гкал/руб.);
- 4) топливосъемкость продукции  $\beta_{топ.п}$  (кг у.т./руб.).

Эти показатели определяются по выражениям

$$\beta_{эн.п} = \Sigma B_z / Ц_{з.п}$$

$$\beta_{эл.п} = W_{эл.з} / Ц_{з.п};$$

$$\beta_{т.п} = Q_z / Ц_{з.п};$$

$$\beta_{топ.п} = \Sigma B_{тз} / Ц_{з.п}$$

где  $\Sigma B_z$  - полное годовое потребление топлива и всех видов энергии в пересчете на условное топливо, кг у.т./год;

$W_{эл.з}$  - годовое потребление активной мощности, кВт · ч/год;

$Q_z$  - годовое потребление тепловой энергии, ГДж/год или Гкал/год;

$\Sigma B_{тз}$  - полное годовое потребление всех видов топлива, кг у.т./год;

$Ц_{зп}$  - стоимость годового выпуска продукции, руб./год.

Аналогичные показатели применяются и в зарубежной практике.

В таблице приведены значения  $\beta_{эн.п}$ ,  $\beta_{эл.п}$ ,  $\beta_{т.п}$ ,  $\beta_{топ.п}$  для ряда обследованных машиностроительных предприятий. Как видно из этой

таблицы, наиболее энергоемкими являются предприятия, связанные с оборонными заказами.

На предприятиях с полным технологическим циклом наибольшего снижения расходов энергоресурсов можно добиться в металлургическом, электротермическом производстве и в производстве сжатого воздуха и кислорода. На предприятиях с неполным технологическим циклом, но имеющих литейное производство, основное внимание следует уделять энергосбережению в литейных и термических цехах и при выработке сжатого воздуха и кислорода.

Таблица 3.8

Показатели работы ряда машиностроительных предприятий в 2015 г.

Наименование предприятия	Потребление ТЭР				$\beta_{\text{эн.п.}}$ кг у.т./руб	$\beta_{\text{эл.п.}}$ кВт ч/руб.	$\beta_{\text{т.п.}}$ Гкал/ру б.	$\beta_{\text{топ.п}}$ кг у. т. /руб.
	всего, тыс. тут	топливо %	электро энергия %	тепловая энергия, %				
Завод по производству метизов	201,081	37,6	31,14	31,26	0,86	0,841	1,57	0,034
Автобусный завод	95,694	44,24	21,21	35,55	0,249	0,225	0,072	0,146
Завод по производству мостов автомобилей	67,896	6,5	47,4	46,1	0,106	0,159	0,05	0,007
Механический завод	87,299	40,51	25,43	34,06	0,656	0,524	0,167	0,266
Инструментальный завод	56,341	40,18	33,33	26,49	0,517	0,541	0,172	0,207
Завод дорожных машин	100,068	46,28	26,08	27,64	0,678	0,556	0,177	0,314
Судостроительный завод	176,330	53,4	33,6	13	0,281	0,297	0,094	0,15
Завод по производству судовых изделий	115,453	46,56	17,74	36,7	0,887	0,466	0,148	0,413
Завод по производству автомобильных двигателей	318,396	43,92	37,72	18,36	0,505	0,598	0,542	0,222

Окончание табл. 3.8

Наименование предприятия	Потребление ТЭР				$\beta_{эл.л.}$ кг у.т./руб	$\beta_{эл.п.}$ кВт ч/руб.	$\beta_{т.п.}$ Гкал/ру б.	$\beta_{топ.п}$ кг у. т. /руб.
	всего, тыс. туг	топливо %	электро энергия %	тепловая энергия, %				
Завод химического машиностроения	53,070	23,63	21,7	54,67	0,318	0,217	0,07	0,075
Станкостроительный завод	81,121	48,27	20,19	31,54	0,405	0,257	0,08	0,195
Авиационный завод	228,126	46,13	18,42	35,55	2,406	1,393	0,443	1,11

Для данных цехов показателями эффективности использования энергоносителей должны являться удельные расходы на единицу выпускаемой продукции.

На машиностроительных предприятиях с большим количеством металлообрабатывающих станков значительной экономии электроэнергии можно добиться следующими мероприятиями:

- 1) уменьшением припусков и изменением формы заготовок с приближением их к форме готового изделия;
- 2) изменением способов обработки изделий, например, заменой токарной обработки высадкой, переводом обработки изделий со строгания на скоростное фрезерование и т. д.;
- 3) применением многошпиндельных станков вместо одношпиндельных для сверления отверстий;
- 4) выполнением фрезерных работ с установкой на одном станке нескольких фрез;
- 5) увеличением загрузки или заменой недогруженных электродвигателей двигателями меньшей мощности;
- 6) изменением параметров резания.

Удельный расход электроэнергии на одну операцию можно выразить следующей формулой:

$$w_{уд} = P_{xx} (T_m + T_{всп}) + P_{пол} T_m$$

где  $T_m$  - машинное время, с;

$T_{всп}$  - вспомогательное время, с;

$P_{xx}$  - мощность холостого хода, кВт;

$P_{пол}$  - полезная мощность, расходуемая на покрытие нагрузочных потерь и обработку металла за период  $T_m$ ;

$$P_{пол} = k \frac{cS^x \delta^y V}{60 \cdot 75 \cdot 1,36},$$

где  $k$  - коэффициент, учитывающий нагрузочные потери;

$c$  - коэффициент, учитывающий обрабатываемый материал;

$S$  - подача;

$\sigma$  - глубина резания;

$V$  - скорость резания;

$x$  и  $y$  - постоянные коэффициенты для данного материала (для большинства сортов сталей  $x = 0,175$ ,  $y = 1$ ; для чугуна  $x = 0,75$ ,  $y = 0,93$ ).

Из выражений видно, что снизить  $w_{уд}$  можно за счет уменьшения  $T_m$  и  $T_{всп}$ , а также за счет увеличения скорости подачи  $S$ . Поскольку технологические процессы в литейных, термических и кузнечных цехах могут осуществляться с различными энергоносителями, то правильный выбор энергоносителя имеет важное значение для их экономии.

В машиностроительной промышленности широко используется сжатый воздух; системы получения и снабжения сжатым воздухом тоже имеют большую энергоемкость. Большую экономию тепловой энергии можно получить в системах отопления цехов и складов машиностроительных предприятий за счет отказа от традиционных методов отопления с помощью радиаторов и калориферов и перехода на инфракрасный газовый обогрев. Высота корпусов машиностроительных предприятий достигает 30 м. При существующем отоплении большая часть теплоты в таких цехах уходит под крышу и бесполезно теряется. При инфракрасных обогревателях, устанавливаемых под потолком, тепловая энергия передается моментально и непосредственно полу, стенам, предметами и самим работающим. Другими словами, отпадает необходимость нагревать воздух всего цеха (помещения), за счет чего можно экономить 50-60% тепловой энергии.

## Список литературы.

1. Андрижиевский, А.А. Энергосбережение и энергетический менеджмент: Учебное пособие./ А.А.Андрижиевский, В.И.Володин– Мн.: Выш.шк., 2005. – 294 с.
2. Арутюнян, А. А. Основы энергосбережения: методы расчета и анализа потерь электроэнергии, энергетическое обследование и энергоаудит, спо-собы учета и снижения потерь, экономический эффект / А. А. Арутюнян. - Москва: Энергосервис, 2007. - 593 с.
- 3.Свидерская, О.В. Основы энергосбережения: Учебное пособие / О.В.Свидерская – Мн.: Акад.управл.при Президенте Респ.Беларусь, 2006. – 228 с.
4. Ганжа В. Л. Основы эффективного использования энергоресурсов: теория и практика энергосбережения. - Минск: Беларус.наука, 2007. – 451 с.
5. Гулдбрансен, Т.Х. Энергоэффективность и энергетический менеджмент: Учебно-методическое пособие / Т.Х.Гулдбрансен, Л.П.Падалко, В.Л.Червинский – Мн.: БГАТУ, 2010. – 240 с.
- 6.Об энергосбережении: Закон Респ. Беларусь от 8 янв. 2015г. № 239-3/ Нац. правовой Интернет-портал Респ. Беларусь, 11.01.2015, 2/2237.
7. Основы энергосбережения: учебное пособие для вузов / Б. И. Врублевский [и др.] ; под ред. Б. И. Врублевского. - Гомель: ЦНТУ Развитие, 2002. - 190 с.
8. Положение о порядке организации и проведении энергетических обследований (энергоаудитов): Пост. Сов. Мин. Респ. Беларусь, 18.03.2016 №216/ Нац. правовой Интернет-портал Респ. Беларусь,29.03.2016, 5/41848.
- 9.Системы энергетического менеджмента. Требования и руководство по применению: СТБ ISO 50001-2013. – Минск: Гос. ком. по стандартизацииРесп. Беларусь, 2013.- 21с.
10. СТБ 1691-2006.Энергетическое обследование потребителей топливно-энергетических ресурсов. Требования к организациям Энергетычнае абследаванне спажыўцоў паліўна-энергетычных рэсурсаў. Патрабаванні да арганізацый. - Изд. офиц.. - Минск :БелГИСС, 2006. - 4 с..
11. Сибикин, М. Ю. Технология энергосбережения : учебник / М. Ю. Сибикин, Ю. Д. Сибикин. - 3-е изд.. - Москва : ФОРУМ, 2012. - 351 с

12. Шульц, Л. А. Теплоэнергетическое оборудование и энергосбережение: учебное пособие для вузов / Л. А. Шульц. - Москва: Учеба, 2007. - 251 с.

13. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях : учебник для вузов / под ред. А. В. Клименко. - 2-е изд., стер.. - Москва : МЭИ, 2011. - 422, [1] с.

## Содержание

1. Энергия. Ресурсы. Методы преобразования энергии.....	3
2. Технологические схемы производства энергии.....	21
3. Отраслевое энергосбережение.....	22
Список литературы.....	46



**Вальченко Николай Адамович  
Якимченко Владислав Геннадьевич**

# **ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ АУДИТ И УПРАВЛЕНИЕ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕМ**

**Пособие  
по одноименной дисциплине  
для студентов специальности 1-43 01 07  
«Техническая эксплуатация  
энергооборудования организаций»  
дневной и заочной форм обучения**

Подписано к размещению в электронную библиотеку  
ГГТУ им. П. О. Сухого в качестве электронного  
учебно-методического документа 14.04.20.

Рег. № 36Е.  
<http://www.gstu.by>