



Автор: Владимир Новиков, технический директор ООО НПК «Резонанс»

Пусть ЭТО прозвучит непатриотично, но по удельным энергозатратам на единицу выпуска продукции Россия отстает от многих развитых стран. Между тем существует понятие эксергии и способы ее экономии. Одинаковые в количественном отношении энергетические потоки обладают разной технико-экономической ценностью.

Эксергия, открой личико!

Качество применимо к энергии

Эксергией принято называть качественную степень возможности энергии любого типа производить работу в окружающей среде (приставка «ex» – из латинского externus, т. е. внешний, – «работа», по-гречески). С этой точки зрения понятно, что расплавленный металл электрода при электросварке имеет исключительно высокую эксергию, чуть теплые каналы-защитные стоки от предприятя – низкую, выбрасываемый вентиляторами теплый воздух из цехов – пренебрежимо малый эксергетический потенциал. Тепло в каждом из указанных потоков может быть при этом абсолютно одинаковым по количеству, но технико-экономическая ценность – совершенно разной.

Кто самый эксергограмотный?

Как только в маленькой Австрии поняли, что эксергия имеет не столько теоретическое, сколько практическое значение, так в 1956 году впервые в мире составили «Эксергетический баланс страны», где разнообразные вторичные энергоресурсы изначально учитывались с качественными оценками на предмет потенциала и целесообразности их утилизации. Своим рациональным умом они верно определили: зачем напрягать инженеров в вопросах, польза от решения которых близка к знаменитому пшнику? Почти полвека прошло, но в России, с ее безудержным размахом и широкой душой, так и не было попыток повторения опыта прагматичной Австрии в деле инвентаризации применяющихся в стране энергоресурсов (первичных и вторичных), хотя книги и статей об эксергии на русском языке написано за этот период более 300, сменился даже общественно-политический строй. Неужели граждане нашей страны охвачены одним всеобъемлющим хобби маниловского направления: подробнейшим образом порассуждать на тему о пользе, не сделав в направлении той самой пользы ни одного шага?

Спустя 10 лет после совпадения теории с практикой на примере целой страны, системно исследовали вопрос польские ученые Я. Шаргут и Р. Петела. В их оценке, принятой впоследствии всем миром, исходное органическое топливо и электроэнергия – это субстанции с эксергией наивысшего качества (100%), способные производить любую механическую работу, для которой потребна только эксергия. Именно работоспособность столетиями ценилась во всех странах,

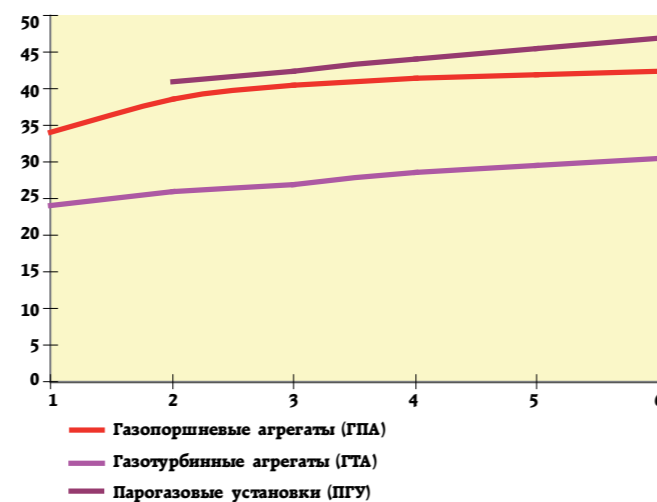
вначале – при оценке работников и тягловых животных, впоследствии – при оценке машин различного направления.

По Емелиному хотенью

Более 800 лет многие безуспешно пытались создать вечный двигатель (Perpetuum Mobile artificiae), с целью получить дармовую работу как следствие необычного технического решения. Природа доказала тщетность изобретательских усилий, так как за полезно совершаемую работу всегда приходится чем-то платить в увеличенных размерах. Поэтому коэффициент полезного действия (КПД) любой машины всегда меньше единицы, а экономическая эффективность возникает только от системы «человек – машина – общество» в целом.

По причине разнородности энергокачества нельзя складывать или сопоставлять 1 кДж электроэнергии с переведенной в кДж горячей водой в научной калориметрической бомбе, как это пытаются часто сделать для подсчета коэффициента полезного действия какого-либо преобразующего устройства. На бытовом уровне

Рис. 1. Эффективность выработки электроэнергии в газоспользующих установках



не никто ведь не складывает трактор в 75 лошадиных сил с одной лошады мощностью 1 л. с. только на основании одинаковости единицы измерения силы, получая якобы при этом складывании агрегат мощностью 76 л. с. Но в некоторых теоретических построениях пытаются такое протащить и выдать за научное новшество, что будет показано ниже на конкретном примере.

Недавние межгосударственные ожесточенные политико-экономические баталии по поводу использования и транзита энергоносителя (газа) бывшими союзными республиками показали, насколько значимой является стопроцентная эксергия в современном мире. Белорусские исследователи дают следующие показатели производства полезного тепла и электроэнергии различными агрегатами (см. рис. 1).

Сейчас повсеместно используются в основном газотурбинные агрегаты с КПД преобразования в электроэнергию 24-34% от исходной эксергии топлива, остальное уходит с тепловыми выбросами в атмосферу. Газопоршневые агрегаты – не что иное, как автомобильные двигатели на газе, у которых на рабочий цикл движения расходуется 34-46%, а больше половины тепла также выбрасывается в воздух. Помните, как Емеля из русской сказки ездил к царю на дымящей печи? К настоящему времени сказка стала былью, масса населения разъезжает на таких же неэкономичных печках, оснащенных глушителями, разве только простаивание в автомобильных пробках осуществляется с повышенным комфортом за счет технического прогресса.

Приложим алгебру к рассуждениям

Резерв в использовании топлива есть, причем существенный. Достаточно посмотреть столбцы №№5 и 6 в нижеприведенной таблице 1. В полтора-два раза можно увеличить полезность того же самого топлива для тех же самых нужд,

применив более прогрессивную технику его сжигания с повышенным использованием первичной эксергии.

Какой же следует вывод? Там, где используется прогрессивная техника с повышенной долей отпуска тепла сжигаемого газа в процессе выработки электроэнергии (столбец 3), там и общий эффект выше (столбец 4). Выходит, тепло ценится дороже электричества. На основе приведенных фактических данных, при сопоставлении стоимости энергоносителей по шкале «пар из котельной, или электропривод?», следует вначале разделить стоимость потребляемой процессом электроэнергии на 0,32. Только в этом случае мы получаем эквивалентную стоимость топлива в процессе. На одну чашу весов кладем УТРОЕННЫЙ объем затрат на электроэнергию, на другую чашу – тепловой эквивалент расходов на топливо по номинально потребляемой электроэнергии. Если реальные суммы приобретения топлива перевесили трехкратную величину затрат на электропотребление, то электротехнология экономически выгодна по главной ее сущности. Мнимая эффективность (есть и такая!) рассматривается в следующем разделе.

Экономия истинная и мнимая

Удобный измеритель – эксергия: всегда можно правильно рассчитать экономию не только с локальных позиций, но и в целом по суммарной пользе для страны. Разумеется, такой инструмент можно применять и без проведения подробных расчетов, если выигрыш очевиден. Например, при переходе от косвенного парового нагрева воздуха для сушилок к использованию огневого калорифера достаточно построить простейший поэтапный график, – и все будет понятно.

Проще говоря, из котельной убирается котел, со всеми дорогими прибабасами, оставляется от него лишь топка, в ко-

Таблица 1. Стоимость полезной отпущенной энергии в расчете на каждую тонну условного топлива (1 154 м³) при использовании природного газа (рассчитано по белорусским данным)

Электрическая мощность агрегата, МВт	Стоимость выработанной и отпущенной энергии потребителям, руб./т. у. т.			Повышенные затраты (-) или прибыль (+) стоимости энергии по сравнению с отпуском от централизованной энергосистемы	
	Доля электрической части	Доля тепловой	Всего руб./т. у. т.	База для сравнения – отпуск от ТЭЦ	База для сравнения – отпуск от КЭС + районной котельной
части	2	3	4	5	6
Газопоршневые агрегаты (когенерационный экономичный режим работы)					
0,5	0,78	0,22	8090	-4,8	+34,8
2,0	0,81	0,19	8880	+4,5	+48,0
4,0	0,81	0,19	9415	+10,7	+56,9
6,0	0,81	0,19	9680	+13,9	+61,3
Газотурбинные агрегаты (когенерационный экономичный режим работы)					
2,5	0,53	0,47	8955	+5,3	+57,2
4,0	0,55	0,45	8285	+9,1	+61,4
6,0	0,57	0,43	9615	+13,1	+66,3
Парогазовые установки (ГТУ + ПТУ + котел - утилизатор)					
2,0	0,64	0,36	11235	+32,2	+89,7
6,0	0,70	0,30	11640	+37,0	+94,1
Индивидуальные котельные (в сравнении с районной котельной энергосистемы)					
2,5	-	100	5835	-	+16,2
4,0	-	100	5775	-	+15,0

торой сжигаемое топливо без посредников подогревает воздух для сушилок. Преимущество неоспоримо, экономия по эксергии (и, стало быть, по деньгам) истинная, внедрять следует без всяких сомнений.

Следующий пример посложнее. К примеру, захотело конкретное молокоперерабатывающее предприятие перевести вакуум-выпарную установку на механическое сжатие вторичного пара с почти полным прекращением паропотребления. Установка потребляет 3200 кг пара в час (220 м³ газа) стоимостью 658 руб., турбокомпрессор по расчету должен быть оснащен приводом 140 кВт, за что придется ежедневно платить 242 руб. В масштабах предприятия экономическая эффективность при отказе от пара неоспорима. При определении сквозной народнохозяйственной эффективности переведем 140 кВт/ч в кубометры газа с коэффициентом 0,32 и получим, что на ТЭЦ потребуются сжечь только 36,9 м³ газа. Полученная величина почти вшестеро меньше существующей картины на предприятии, во столько же раз меньше будет загрязняться воздушный бассейн страны при переходе на электропривод. Вывод однозначен: внедрять следует безусловно, так как технология явно прогрессивна и обладает повышенным народнохозяйственным значением. На аналитическом графике (см. рис. 2) видно, что электроэнергия в новой технологии приложена точно, с исключением неэффективных процессов локальной трансформации тепла до начала ее использования. Вот где находятся технические корни выгоды.

Следующий пример показывает, что при эксергетической оценке могут быть получены выводы, противоречащие распространенным утверждениям, часто носящим рекламный характер.

В последние годы (текущий – не исключение) на выставках современных высоких технологий различные фирмы активно проталкивают в жизнь вихревые теплогенераторы (ВТГ) с электроприводом, горделиво называя их не иначе как техникой XXI века. При этом используют ВТГ (внимание!) как замену водогрейных котлов с первично сжигаемым топливом, но эффективность лукаво считают не от сопоставления с тем самым топливом, что поступает в заменяемый ими котел, а от применения других видов прямого электронагрева ТЭНами или электродкотлами. Отсюда и пошли гулять недобросовестные цифры о якобы эффективности ВТГ в 1,5 раза в среднем за счет использования никем не осязаемых торсионных полей при полной экологичности процесса. Пардон, зачем же прибегать к псевдонаучным манипуляциям и восторженным отзывам остепененных, но эксерго-некомпетентных авторитетов «для веса» при продавливании ваших явно рыночно-при-

быльных интересов. Все гораздо проще. Возьмите исходную 100% эксергию топлива, из которой 62,3% переходит в воду как теплоноситель, да сравните ее с 32% получения электроэнергии из той же топливной эксергии где-то там далеко на ТЭЦ, умножив последнюю цифру на КПД электродвигателя ВТГ = 0,98, затем на декларируемые 1,5 раза. При единой базе сравнения выходит только 48% использования первичного топлива. Ну и каким же прибором можно зафиксировать высокопарно провозглашенные высокие технологии, экономический эффект и экологичность, когда во всей длинной цепочке «топливо – пар – электрогенератор – энергосети – трансформатор – электродвигатель – горячая вода в ВТГ» закономерно расходуется топлива больше почти на четверть вследствие потерь в многоступенчатых преобразованиях? Конечно же, дополнительная четверть топлива при сгорании на невидимой из ваших окон ТЭЦ выбрасывает в окружающую среду соответствующее огромное количество углекислого газа, окислов азота и канцерогенов...

Как охладить горячие споры холодильщиков

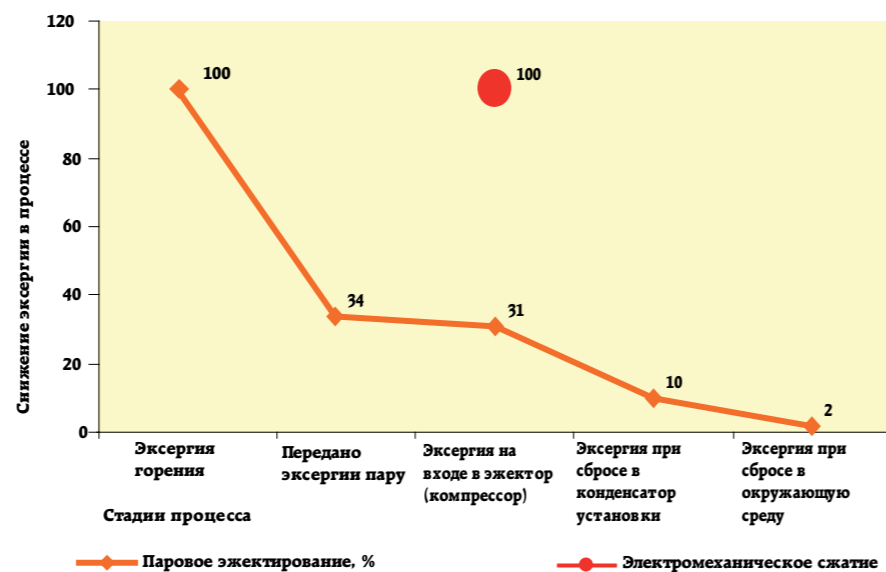
Пора рассмотреть холодильные процессы. В предыдущей статье по холоду («Холодильные страдания», «Молочная СФЕРА» №4 (18), 2007) было показано, что любое понижение температур по отношению к окружающей среде неизбежно сопровождается затратами работы, т. е. чистой эксергии, оттого и стоимость калории холода

в шесть раз больше стоимости калории тепла. В холодильных установках обязательно применяются источники поддержания движения в процессе (тепловые, или электрические), а эффективность ищут не там, где ее потеряли. Годами не прекращаются дискуссии специалистов-холодильщиков о том, какое рабочее тело лучше и экономичнее в циклах отбора тепла: фреон или аммиак?

Давайте взглянем на график (рис. 3), демонстрирующий влияние применяемого хладагента на эффективность любого холодильного цикла. По температурам охлаждения до $t = -10^\circ\text{C}$ предмета спора не существует, а рекомендуемый для промышленных холодильных установок современный R134a существенно понижает результативность работы и будет обходиться дороже не только при дозакравках, но и по расходу работы на его перекачивание в цикле. Прогрессом в этом случае не пахнет.

При температурах, характерных для камер длительного хранения продукции, т. е. от -25°C и ниже, увлечение фреоном будет накладнее аммиачных систем на треть и более – как по капитальным затратам (медь дороже стали!), так и по

Рисунок 2. Эффективность теплонасосной схемы вакуум-выпарной установки



текущим, в части электропотребления на прокачивание повышенных объемов паров. Каждый хладагент имеет свой диапазон эффективности, вне зависимости от технической системы, в которой он находится. Это первая составляющая процесса охлаждения.

Вторая составляющая эффективности в инженерном формировании процесса лежит в конструктивном исполнении цикла целиком. Так, при температуре испарения аммиака -10°C еще можно обойтись одноступенчатой холодильной машиной, но понизить глубину охлаждения еще на 10 эффективно можно только двухступенчатой машиной с промежуточным охлаждением рабочего тела. Расход электроэнергии в двухступенчатом низкотемпературном процессе будет примерно на треть ниже. «Вот уж действительно – все относительно», – пел Владимир Высоцкий, при этом был по сути прав. Считать необходимо на основе комплекса инженерных наук и многих конкретных условий применения машины, а не аппликативно прикладывая типовые решения, как заплатки: закрыли прореху – и ладушки...

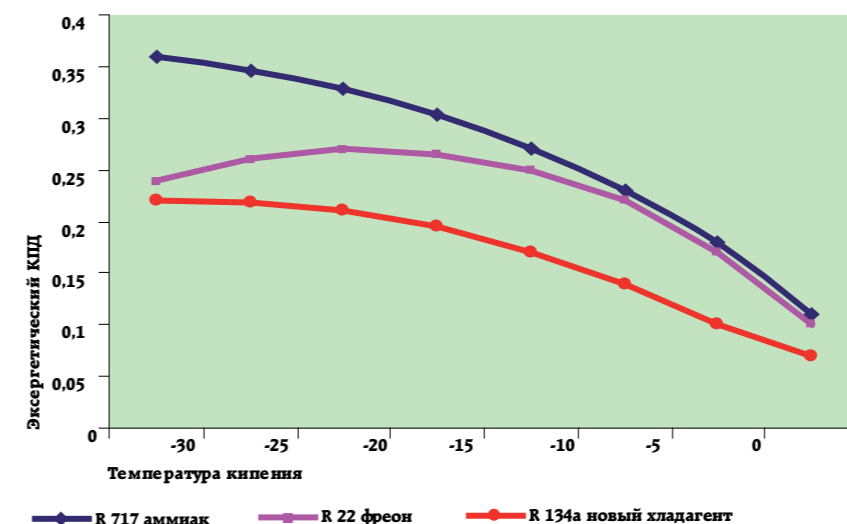
В любом случае, коэффициент полезного действия при охлаждении низок. На входе в установку расходуется электроэнергия в качестве концентрата чистой эксергии, а используется она в лучшем случае наполовину.

Чего следует ожидать

Инженерные выводы, как правило, тесно связаны с какой-то материально осязаемой пользой, иначе это будет схоластика, оторванная от профессионального предназначения инженера: создавать осязаемое по своим показателям окружение с улучшенными свойствами. Усвоение понятия эксергии и умение его применять заключается примерно в следующих рекомендациях:

1. Не надо «выжимать» из единицы оборудования запредельные параметры, лучше продвигаться к цели по ступенькам, составленным из разных технологий и разных технических единиц;
2. Перепад температур между теплоносителем и обрабатываемым продуктом желательно соблюдать в пределах $10-15^\circ\text{C}$;
3. Там, где температура теплоносителя требуется не выше 100°C , применяйте горячую воду, а не пар, причем не надо ее греть в электродвигателях или ТЭНами;
4. Горячий воздух на сушку экономичнее получать напрямую в огневых калориферах, а не с применением промежуточного подогрева паром и тем более не в электрокалориферах;
5. Учитывайте соотношение: один кДж работы, произведенный электрическим устройством, примерно втрое дороже такого же кДж тепла, содержащегося в первичном органическом топливе;

Рисунок 3. Зависимость эксергетических КПД действительных циклов холодильных машин от температур кипения хладагентов



6. Калория промышленного холода, вырабатываемая на производстве, в среднем в 6 раз дороже, чем калория тепла;

7. Самый дешевый холод – природный. Зимой это – воздух, лед, ледяная вода, а летом – вода из артезианской скважины. При снятии теплоизбытков потока свыше $+20^\circ\text{C}$, вначале в первую секцию охлаждения продукта следует подавать артезианскую воду, которую после отепления можно использовать на различные нужды предприятия;

8. Водоснабнительное охлаждение оборудования с одновременным обдувом увлажненной теплообменной поверхности воздухом в 2-5 раз эффективнее распространенного воздушного охлаждения;

9. Теплонасосные схемы отъема тепла из сбрасываемых потоков жидкости, дают тепло низкого потенциала (до $+40^\circ\text{C}$), зато примерно втрое дешевле его получения иными способами подогрева;

10. Ради локальных точечных малых воздействий на какой-то поток продукта, нет необходимости создавать эксергетически мощную большую систему энергопотоков высокого потенциала для всего предприятия;

11. Пересчет физических единиц при трансформации тепла для определения их стоимости при совершении работы будет примерно таким: 1 м^3 природного газа = 35 600 кДж тепла по низшей теплоте сгорания = 8,83 кВт/ч = 14,5 кг пара = 3630 кгс/м.

12. Традиционные технические решения по теплу, холоду и электроэнергии в России, как правило, энергорасточительны, поэтому не надо доверять словесным рекламным заверениям о фантастической окупаемости мероприятий.

Не умея разглядеть источники экономии эксергии, нельзя будет понять причины отставания России в несколько раз по удельным энергозатратам на единицу выпуска продукции по сравнению со многими развитыми странами. Конечно, часть повышенных расходов надо по справедливости отнести на более суровый отечественный климат, но это будет, увы, очень малая часть. Основные потери – неумение системно мыслить и комплексно считать плюсы и минусы по системам в целом, а не по каким-либо произвольно выдернутым элементам. Об этом полезно помнить не только тому, кто выполняет расчеты, но также и тем, кто осуществляет руководство организациями различной величины. **МБ**