

*Кенжаев И.Г., Турсунбаев Ж.Ж.*

**АНАЛИЗ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРОИСХОДЯЩИХ  
В ЭНЕРГОУСТАНОВКАХ**

*I.G. Kenzhaev, Zh.Zh. Tursunbaev*

**ANALYSIS OF THERMODYNAMIC PROCESSES OCCURRING  
IN THE POWER PLANT**

УДК: 662.997.536.

*Современная термодинамика (классическая и неравновесная) представляет собой уникальный инструмент для исследования процессов в макроскопических системах, поэтому области ее применения весьма разнообразны и охватывают как неживые, так и живые системы, причем зачастую оказывается, что результаты, полученные при решении одних задач, практически без изменений переносятся на другие.*

*Modern thermodynamics (classical and non-equilibrium) is a unique tool for the study of processes in a macroscopic systems, so its field of application are varied and include both non-living, and living systems, and it often turns out that the results, obtained in solving some problems, practically without changes are transferred to the other.*

Все реальные процессы в макроскопических системах имеют диссипативную природу (необратимы). Уникальным инструментом для исследования таких процессов служит термодинамика необратимых процессов. Весьма актуально применение ее методов как для решения общих теоретических проблем, так и для анализа конкретных процессов в различных энергетических и технологических установках. При этом неравновесная термодинамика позволяет установить связи между различными процессами. Как правило, полученные решения лежат в основе инженерных методик, необходимых для расчета, проектирования и эксплуатации технологического оборудования.

В технической термодинамике, которая в основном использует методы классической (равновесной) термодинамики, изучаются процессы взаимного превращения различных видов энергии. В принципе все эти процессы имеют диссипативную природу (необратимы) и для их углубленного изучения требуется привлечение аппарата термодинамики необратимых процессов [1,2].

Подобных задач в настоящее время решено явно недостаточно, что делает актуальным развитие методов анализа процессов энергопревращений на основе неравновесной термодинамики.

Важное социальное и экономическое значение имеет техническая задача энергосбережения. Производство и потребление энергии растет с каждым годом во всем мире, что обусловлено ростом масштабов производства всех хозяйственных отраслей, развитием новых технологий и ростом народонаселения. В этих условиях важную роль играет экономия

энергоресурсов. Для создания энергосберегающих технологий и совершенствования энергетического и технологического оборудования нужны критерии качества энергии и эффективности ее использования. Эта задача успешно решается методами термодинамики. Например, в тепловых двигателях часть полезной работы неизбежно превращается в теплоту, которая безвозвратно рассеивается в окружающей среде. Эти потери можно уменьшить более рациональной организацией процессов и более совершенным инженерным оформлением энергетических установок.

При практическом использовании различных видов энергии важное значение имеет ее качество, определяющее возможность превращения в другие виды энергии [3]:

- энергия высокого качества (например, механическая и электрическая) почти без ограничений может превращаться в другие виды энергии;
- энергия среднего качества (химическая и внутренняя при отсутствии равновесия с окружающей средой) ограниченно преобразуется в другие виды энергии;
- энергия низкого качества (теплота) диссипирует в окружающей среде и вообще не преобразуется в другие виды энергии.

Преимущества энергии высокого качества, например, электрической, обусловлены тем, что она относительно легко может быть преобразована в другие виды энергии (механическую, химическую, тепловую) и транспортирована на большие расстояния.

Все реальные процессы необратимы и сопровождаются диссипацией (потерей качества) высококачественной энергии в теплоту. Мерой количества диссипированной энергии служит производство энтропии или диссипативная функция, вводимые в неравновесной термодинамике. Высококачественные формы энергии могут превращаться друг в друга без диссипации, а в технических устройствах диссипативные эффекты могут быть сведены к минимуму. По терминологии [3] эти виды энергии называют безэнтропийными.

Безэнтропийными являются, например, процессы в консервативных системах.

Носителями высококачественной энергии могут быть как микроскопические (элементарные частицы, атомы, молекулы, физические поля), так и макроскопические системы (вещество). Низкокачественная форма энергии всегда связана с макроскопическими (тер-

модинамическими) системами. Эти виды энергии называют энтропийными [3], так как процессы их взаимного превращения и преобразования в высоко-сортные формы энергии подчиняются второму закону термодинамики.

Отметим, что источником пригодной для использования энергии могут служить только системы, не находящиеся в равновесии с окружающей средой.

Такие системы могут совершить максимальную работу, если протекающие в них процессы обратимы. Мерой максимальной работы являются разности соответствующих термодинамических потенциалов.

Однако во многих случаях для оценки работоспособности термодинамических потенциалов недостаточно, поскольку системы функционируют в окружающей среде, которая может оказывать влияние на их работу. Для учета последнего обстоятельства введены эксергетические функции, обобщающие понятие потенциалов и учитывающие влияние среды.

Аналогами свободной энергии и энтальпии являются функции  $U - T_0 S + p_0 V$  и  $H - T_0 S$  ( $U, H, S$  - внутренняя энергия, энтальпия и энтропия системы,  $T_0, P_0$  — температура и давление окружающей среды).

Разность эксергетических функций в двух состояниях, так же, как и разность термодинамических потенциалов, определяет максимальную работоспособность или эксергию.

Понятие «эксергия» для функций такого рода было введено в 1957 году З. Рантом, а классическое определение эксергии как «максимальной работы», которую может совершить система в обратимом процессе с окружающей средой в качестве источника даровых тепла и веществ, если в конце этого процесса все участвующие в нем виды материи приходят в состояние термодинамического равновесия со всеми компонентами окружающей среды было дано Я. Шаргутом и Р. Петелой [4]. Ими введены понятия эксергии потока вещества, физической эксергии (результат несовпадения температуры и давления системы и окружающей среды), химической эксергии (результат несовпадения химических потенциалов системы и окружающей среды).

Решение проблем энергосбережения требует существенной интенсификации различных технологических процессов. Один из путей решения этой задачи связан с использованием дисперсных сред. Развитые поверхности межфазного взаимодействия, высокие значения коэффициентов переноса энергии и вещества в таких системах позволяют существенно интенсифицировать многие технологические процессы.

Основную роль в исследовании поведения дисперсных сред играет и релаксационный формализм неравновесной термодинамики. Релаксационные методы позволяют получить эффективные термодинамические свойства дисперсных систем и динамические уравнения состояния, которые описывают протекание процессов во времени, причем в качестве переменных выступают обычные термодинамические

параметры, такие, как давление, объем, температура и т. п.

Важным разделом термодинамики необратимых процессов является теория релаксации [1,2]. При внешних воздействиях в системе развиваются внутренние процессы, стремящиеся нейтрализовать эти воздействия и вернуть систему в равновесное состояние. Эти внутренние процессы определяют инерцию системы и могут характеризоваться дополнительными внутренними переменными. Стремление системы к равновесию, следствием которого являются наблюдаемые процессы, можно рассматривать как совокупность процессов релаксации. В качестве внутренних переменных (параметров релаксации) могут выступать температуры отдельных подсистем, концентрации веществ, координаты химических реакций и т. д.

Если временные масштабы внешних воздействий имеют тот же порядок, что и времена релаксации, то внутренние неравновесные процессы могут оказывать существенное влияние на макроскопические процессы переноса как между средой и системой, так и внутри самой системы.

В термодинамической теории релаксации [2] используются линейные феноменологические законы в виде

$$\frac{d\xi}{dt} = LA \quad (1)$$

где  $\xi$  – параметр релаксации;

$A$  – средство процесса релаксации;

$L$  – феноменологический коэффициент.

Средство  $A$  зависит от обычных термодинамических параметров, например,  $T, p$  и параметров релаксации  $\xi$ , а уравнение термодинамического процесса имеет вид  $y = y(x, \xi)$ .

В энергетике актуальна проблема повышения эффективности энергоустановок, снижения расхода топлива, энергии и тепла. При решении этих задач также используются дисперсные рабочие тела.

В настоящее время предложено большое количество физических и математических моделей процессов в дисперсных средах, обобщающих огромный экспериментальный материал, и разработаны инженерные методики, позволяющие осуществлять инженерное оформление технологий.

#### Список использованной литературы:

1. Дьярмати И. Неравновесная термодинамика. М.: Мир. - 1974. - 301 с.
2. Пригожий И., Кондепуди Д. Современная термодинамика. М.: Мир. -2002. 295 с.
3. Бродянский В.М., Фратшер В., Михале К. Эксергетический метод и его приложение. М.: Энергоатомиздат. - 1988. - 288 с.
4. Шаргут Я., Петела Р. Эксергия. М.: Энергия. - 1968. - 280 с.

Рецензент: д.т.н., профессор Исманжанов А.И.