

УДК 621.59

**М. Б. Кравченко**

Одесская государственная академия холода, ул. Дворянская, 1/3, Одесса, 65026, Украина

e-mail: admin@osar.odessa.ua

## АНАЛИЗ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ЦИКЛОВ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ УСТАНОВОК С ПОМОЩЬЮ $(q-1/T)$ -ДИАГРАММ

*Предложена диаграмма, позволяющая наглядно представлять потери от необратимости в аппаратах и др. элементах энергетических установок. На конкретных примерах рассмотрены особенности применения  $(q-1/T)$ -диаграмм для анализа термодинамических циклов низкотемпературных установок.*

**Ключевые слова:** потери от необратимости; криогенная техника; энтропия; эксергия.

**М. В. Kravchenko**

## THE ANALYSIS OF THERMODYNAMIC CYCLES IN LOW-TEMPERATURE PLANTS WITH THE HELP OF THE $(q-1/T)$ -DIAGRAMS

*The diagram allows to demonstrate clearly the thermodynamic losses in the apparatus and other elements of energy units. The peculiarities of application of  $(q-1/T)$  diagram for analysis of cycles of low temperature plants is considered on concrete examples.*

**Key words:** thermodynamic losses; cryogenic engineering; entropy; exergy.

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Можно назвать, по крайней мере, три причины, которые обосновывают актуальность разработки новых графических методов термодинамического анализа энергетических установок.

Во-первых, представление данных в графической форме для нас более естественно и удобно. Компьютеры «мыслят» большими массивами чисел, которые с трудом воспринимаются человеком. Поэтому язык графических образов лучше всего подходит для передачи информации от компьютера к человеку. В связи с этим различного рода диаграммы и графики, несомненно, будут использоваться и в обозримом будущем.

Во-вторых, будущих инженеров целесообразно на начальном этапе обучать сравнительно простым графо-аналитическим методам расчета установок. Поэтому, несмотря на то, что при проектировании реальных низкотемпературных систем практически все расчеты выполняются на ЭВМ, эти методы будут применяться благодаря их простоте и наглядности.

И, наконец, в-третьих, при решении нестандартных задач, для которых еще не разработано программное обеспечение, также могут пригодиться старые и новые графо-аналитические методы.

### 2. ПОСТРОЕНИЕ И СВОЙСТВА $(q-1/T)$ -ДИАГРАММ

С использованием  $q-T$ -диаграмм при расчетах теплообменников знаком каждый инженер.  $(q-1/T)$ -диаграмма, в принципе, подобна  $q-T$ -диаграмме и отличается от нее только тем, что в области температур выше

1К  $(q-1/T)$ -диаграмма сжата в  $1/T$  раз.

Для удобства пользования  $(q-1/T)$ -диаграммой по оси абсцисс откладывается не  $1/T$ , а абсолютная температура. Поэтому  $(q-1/T)$ -диаграмму более правильно было бы считать специальным образом деформированной  $q-T$ -диаграммой.

Каждой линии в  $q-T$ -диаграмме соответствует линия в  $(q-1/T)$ -диаграмме. Причем, если линии в  $q-T$ -диаграмме пересекаются, то соответствующие им линии в  $(q-1/T)$ -диаграмме также будут пересекаться. Следовательно,  $(q-1/T)$ -диаграмма сохраняет основные свойства  $q-T$ -диаграммы, а именно, позволяет судить о возможности организации и эффективности теплообмена между потоками теплоносителей. Поэтому для инженеров, пользующихся  $q-T$ -диаграммами, построение и применение  $(q-1/T)$ -диаграмм не должно вызывать каких-либо затруднений.

Помимо этого,  $(q-1/T)$ -диаграмма дает представление о термодинамических потерях, связанных с передачей теплоты при конечной разности температур, например, в теплообменниках.

Приращение энтропии при передаче  $dq$  джоулей теплоты от потока с температурой  $T_1$  к потоку с температурой  $T_2$  находится по формуле:

$$ds = (1/T_2 - 1/T_1)dq. \quad (1)$$

Нетрудно убедиться, что правая часть (1) равна площади элементарного участка, заключенного между линиями прямого и обратного потоков в  $(q-1/T)$ -диаграмме. Следовательно, общее приращение энтропии в рассматриваемом теплообменнике будет равно площади участка диаграммы, заключенного между линиями прямого и обратного потоков: