



## ПРОЕКТЫ И ИССЛЕДОВАНИЯ

### Оптимизация параметров и конфигураций тепловых сетей

Колосов М. В., канд. техн. наук, Жуйков А. В., инж.

**Сибирский федеральный университет, Красноярск**

Представлены статистический материал и анализ по одному из главных энергетических ресурсов — тепловой энергии. Предложены математическая модель оптимизации параметров тепловой сети по энергетическому эффекту и критерий оценки максимальной энергоэффективности.

**Ключевые слова:** тепловая сеть, оптимизация, энергоэффективность.

Проблема взаимодействия, взаимовлияния потребителей, распределенных сетей и источников энергии друг на друга существенно усложняется с ростом городов и обуславливает нерасчетные режимы эксплуатации. Исходная разнокачественность потребителей (зданий) приводит к тому, что они по-разному реагируют на изменения температуры окружающей среды, а система теплоснабжения в целом настроена на некоторые средние параметры. Это создает дисбалансы энергопотребления, распределенные самым произвольным образом, что подтверждается показаниями приборов учета и систем регулирования.

Результаты замеров температурных параметров и расходов показали сильную неравномерность и несбалансированность потокораспределения теплоносителя. Разнокачественность теплотехнических характеристик зданий, произвольным образом распределенных по территории, накладывается на разнородность климатических характеристик и параметров и приводит к совершенно уникальной картине потребления ресурсов коммунальным комплексом. При этом частные решения энергосбережения на ТЭЦ и в зданиях не дадут масштабного эффекта без сочетания их с общими мероприятиями на всех уровнях единого коммунального комплекса.

Одно из направлений совершенствования систем централизованного теплоснабжения — оптимизация параметров и конфигураций тепловых сетей. Задача системы теплоснабжения — по возможности более полное и надежное обеспечение потребителей теплотой. Поэтому оптимизационные модели проектирования и определения режимов работы систем через критерии оптимальности и ограни-

чения должны отражать влияние полноты и надежности теплоснабжения на результирующий показатель эффективности выбора стратегических и тактических параметров системы теплоснабжения. Принципиально существуют два противоположных метода разделения топлива на ТЭЦ: административно узаконенный в 50-х годах физический метод, который до настоящего времени является основой нормативных документов по распределению затрат топлива и затрат на ТЭЦ, и так называемый эксергетический метод.

Физический метод и его аналоги, искусственно снижая стоимость высококачественной электроэнергии (за счет необоснованного повышения цены на сбросную теплоту), приводят к тому, что экономический эффект от теплофикации уходит на отопление электричеством какого-нибудь хозяйственного склада или бытовки (пользующихся льготными тарифами). Население города, имеющего ТЭЦ, оплачивает как свое собственное отопление, так и электрическое отопление этого склада за счет завышенной цены на теплоту. Именно физический метод анализа и последующие его модификации, искусственно занижающие затраты топлива и материальных средств на электроэнергию, привели в последние 50 лет к невосполнимому ущербу в развитии энергосберегающих технологий в России.

Из-за массового отказа покупателей от теплоты, получаемой на ТЭЦ, законодатель, утверждающий принципы и методы анализа технико-экономических показателей, вынужден был разработать модификацию физического метода — действующую методику, введя поправочные “коэффициенты ценности”

теплоты к существующему физическому методу анализа. С 2002 г. обсуждается так называемый аналог эксергетического метода, являющийся модификацией физического метода, но также не отражающий технологию производства энергии на ТЭЦ.

Энергия — консервативная величина, которая не может создаваться или уничтожаться. Поэтому энергетический анализ может выявить лишь потери энергии через границы системы (потери теплоты, энергию отходящих газов и др.). Однако при любом преобразовании энергии ее качество (способность быть превращенной в полезную работу) снижается, хотя количество энергии остается неизменным. Эксергия служит мерой, учитывающей качество энергии. Электрическая и механическая энергия — формы энергии высокого качества, и их вклад в эксергию системы равен полному количеству энергии в этих формах. Вместе с тем эксергия массы воды, температура которой превышает температуру окружающего воздуха на 20 °С, составляет незначительную часть общей тепловой энергии этой воды. Содержание эксергии (выражаемое в тех же единицах, что и количество энергии) характеризует максимальную способность энергии данного потока к преобразованию в другие формы энергии или полезную работу. Вследствие этого эксергию нельзя считать консервативной величиной. Общая эксергия входных потоков любого установившегося процесса всегда превышает общую эксергию выходных потоков. Эта разница является мерой термодинамической необратимости процессов, а ее количественное определение в процессе эксергетического анализа позволяет установить, где теряется качество энергии (и, как следствие, где существуют возможности для энергосбережения).

Данные виды анализа позволяют выявить участки технологического процесса, характеризующиеся наибольшими потерями энергии и эксергии и обладающие наибольшим потенциалом энергосбережения. Поскольку эксергия потока определяется рядом его характеристик, эксергетический анализ может использоваться и для выявления участков,

где образуется загрязнение окружающей среды, а также для количественной оценки этого загрязнения.

Важнейшее условие применения данных методик — наличие информации о материальных и энергетических потоках в системе. Для действующих предприятий такая информация может быть получена с помощью измерений, а для проектируемых — путем моделирования.

При строительстве и эксплуатации системы теплоснабжения предлагается общая модель стохастической оптимизации проектных параметров и схемы тепловой сети:

$$\begin{aligned} \min_{x \in X} F(x) = \\ = \min_{x \in X} \left\{ \varphi_1(x) + \varphi_2(x) + M \min_{\omega, y(\omega) \in Y(\omega)} \varphi_3[x, y(\omega)] \right\}, \end{aligned}$$

где  $\varphi_1(x)$  — суммарные затраты электроэнергии на подачу теплоты потребителям в ситуации  $\omega$ ;  $\varphi_2(x)$  — суммарные потери тепловой энергии сети в ситуации  $\omega$ ;  $\varphi_3(x)$  — суммарные затраты электроэнергии и потери тепловой энергии сети при выходе элемента системы из строя при условии полного обеспечения потребителей теплоэнергией в ситуации  $\omega$ ;  $y(\omega)$  — вектор тактических решений в зависимости от состояний элементов теплосети при реализации внутрисистемных случайных параметров (состояния аварии или исправности звеньев сети).

В целевой функции минимизируются ожидаемые приведенные затраты энергии на эксплуатацию теплосети с учетом ущербов, вызываемых аварийными ситуациями в ее элементах.

Энергетический и эксергетический анализы могут выполняться параллельно для одних и тех же производственных единиц и на основе одних и тех же данных. Однако эксергетический анализ, несмотря на то, что он более сложен и реже применяется, представляется более полезным, поскольку позволяет выявить больше возможностей для энергосбережения.

**a.v.zhuikov@mail.ru**