

Оптимизация затрат при проектировании и эксплуатации тепловых схем и систем теплоснабжения потребителей

Ведрученко В. Р., доктор техн. наук,
Крайнов В. В., Стариков А. П., кандидаты техн. наук, Мещеряков Д. А., инж.
Омский государственный университет путей сообщения

Петров П. В., инж.
ООО Проектный центр “Сибпроект”, Омск

Выполнен анализ затрат при проектировании, постройке и эксплуатации тепловых схем энергоустановок и систем теплоснабжения. Сформированы оптимизирующие параметры таких схем и систем с целью минимизации расходов и совершенствования мероприятий по энергосбережению.

Ключевые слова: тепловая схема, теплоснабжение, оптимизация, целевая функция, эксплуатационные затраты, энергосбережение.

Как показывает мировой опыт решения проблемы энергосбережения, экономия топливно-энергетических ресурсов является стратегической задачей государства. Очевидно, что для России вопросы энергосбережения особенно актуальны. К тому же наша страна обладает одним из самых высоких потенциалов энергосбережения. По различным оценкам, доля возможной экономии энергии составляет от 30 до 40 % топливно-энергетического баланса государства [1 – 3].

С целью стабилизации кризисных явлений в энергообеспечении отечественной экономики

и социальной сферы Правительство Российской Федерации еще в 90-е годы прошлого столетия приняло меры по формированию научной и правовой базы энергосбережения. Энергетическая стратегия сформирована с учетом оптимизации структуры топливно-энергетического баланса для отраслей и регионов. В частности, предусматривается замедление роста расхода энергоресурсов на централизованное теплоснабжение в 1,07 – 1,11 раза относительно общего энергопотребления в связи с большими возможностями для снижения потерь и экономии теплоты, а также

опережающего развития ее локальных и индивидуальных источников. Процесс проектирования систем теплоснабжения и тепловых схем энергоустановок и потребителей теплоты связан с решением комплекса технических вопросов, обеспечивающих минимум затрат на потребление и трансформацию тепловой энергии (или на достижение другого результата в зависимости от функционального назначения объекта).

Характеристики систем теплоснабжения и элементов тепловых схем, изменение которых сопровождается как положительными, так и отрицательными явлениями, представляют собой оптимизируемые величины. К ним относятся скорость сред в трубопроводах, материал элементов систем и степень его защиты от коррозии, уровень автоматизации и резервирования и др. Каждому принятому при проектировании значению скорости среды в системе соответствуют определенные капиталовложения и эксплуатационные затраты. В общем случае рост скорости рабочей среды сопровождается снижением первоначальной стоимости системы за счет уменьшения сечения труб, а следовательно, и общей металлоемкости (что наиболее существенно проявляется на объектах и в системах теплоснабжения малой мощности). Эксплуатационные затраты при этом увеличиваются из-за возрастания сопротивления, а значит, и повышения расхода энергии на перекачивание среды. Следовательно, существуют оптимальные значения скорости среды в системах, при которых минимальны суммарные затраты, связанные с потреблением теплоты.

Для большинства технических систем, потребляющих тепловую энергию, оптимальные значения скорости находятся в пределах, регламентируемых соответствующими нормативными материалами [1–4]. Однако для отдельных новых либо подвергаемых капитальному ремонту объектов теплотребления может оказаться целесообразным применение таких систем, в которых скорости сред превышают обычно рекомендуемые. Это относится в первую очередь к локальным (блочным) системам теплотребления с жесткими требованиями к массогабаритным показателям энергетического оборудования.

Практика эксплуатации таких локальных систем позволила выявить области рационального использования тех или иных материалов, например, для трубопроводов. Решающее значение для оценки применимости материала имеют его долговечность и стои-

мость. Показателем долговечности трубопроводов систем пресной и неподготовленной воды, а также трубопроводов влажного пара может служить коррозионная стойкость материала. Такая оценка приведена в таблице, построенной по данным [4]. Из нее видно, что материалы разной стоимости могут иметь одинаковую коррозионную стойкость. В некоторых случаях использование дорогого материала более выгодно, чем дешевого, но недолговечного. Это означает, что выбор материала для конкретных трубопроводов и других элементов систем представляет собой решение оптимизационной задачи.

Для обеспечения надлежащего уровня надежности и живучести систем теплотребления и тепловых схем применяют резервирование отдельных ответственных комплектующих элементов. Резервирование сопровождается усложнением состава систем и их удорожанием. Вместе с тем увеличение степени резервирования уменьшает вероятность останова системы и создания аварийной ситуации. Перечень элементов систем, подлежащих обязательному резервированию, регламентируется СНиП и Правилами. Однако при создании новых видов энергосберегающих устройств и их систем иногда может возникнуть необходимость в определении оптимальной степени резервирования, обеспечивающей заданную надежность (например, при минимальных капиталовложениях).

Применение оборудования, позволяющего автоматизировать те или иные процессы, существенно увеличивает капиталовложения в рассматриваемые системы. Стоимость высокоавтоматизированной системы может в несколько раз превышать стоимость системы с ручным управлением. Но повышение уровня автоматизации систем сопровождается улучшением тактико-технических показателей и, как правило, увеличением их надежности, а также высвобождением обслуживающего персонала. Применительно к системам теплоснабжения с традиционными принципами управления и эксплуатации степень автоматизации управления относится к оптимизируемым величинам, поскольку предельно достигнутый (с технической точки зрения) уровень автоматизации обычно не обеспечивает минимальных затрат как на производство, так и на потребление тепловой энергии.

Технические характеристики отдельных элементов систем часто являются оптимизируемыми параметрами. Так, с целью уменьшения эрозионного и абразивного износа

Среда	Степень коррозионной стойкости различных материалов трубопроводов											
	Сталь				Чугун	Медь	Медные сплавы			Пластмассы		
	без покрытия	оцинкованная	гуммированная	с полихлорвиниловым покрытием			CuZn21 A 12	CuNi 10Fe	CuNi 30Fe	полихлорвинил	полиэтилен	полипропилен
Пресная холодная вода:												
подготовленная	2	2	1	1	2	1–2	–	–	–	1	1	1
неподготовленная	3	3	1	1	2–3	1–2	–	–	–	1	1	1
Пресная теплая вода (до 45° С)	3–4	3–4	2 (< 75° С)	2 (< 75° С)	3–4	2	–	–	–	5	5	2 (< 75° С)
Пресная горячая вода	2	5	5	5	2	2	–	–	–	5	5	5
Влажный пар	2	5	5	5	2	1–2	1–2	1	1	5	5	5

Примечание. Баллы оценки: 1 — стойкий в высшей степени; 2 — стойкий; 3 — условно-стойкий; 4 — нестойкий; 5 — непригоден; прочерк — обычно не применяется.

элементов следует применять фильтры с минимально возможной ячейкой, однако это будет сопровождаться резким ростом гидравлического сопротивления и, как следствие, вызовет необходимость в более мощных нагнетательных устройствах. В общем случае нахождение оптимального параметра сводится к формированию функции цели, учитывающей положительные и отрицательные явления при изменении этого параметра, и к определению ее глобального экстремума [5, 6].

Построение и решение функции цели часто связано с большими трудностями в основном из-за отсутствия соответствующей исходной информации и некоторой неопределенности будущих условий эксплуатации для вновь проектируемых систем теплоснабжения и тепловых схем, а также вследствие слабого развития методологической базы и недостаточного использования средств вычислительной техники в процессах проектирования. Поэтому в современной практике большая роль при проектировании отводится нормативным и руководящим материалам, базирующимся на обобщении опыта эксплуатации тепловых систем. Обычно при этом находят не оптимальное, а близкое к нему значение параметра. Многое зависит от индивидуальных качеств проектировщика [7].

Для повышения качества проектирования и создания наиболее эффективных систем необходимо свести к минимуму отклонения принимаемых параметров от оптимальных.

Принципы и методы оптимизации могут быть различными. Они зависят от многих факторов, и в первую очередь — от назначения и мощности теплоисточника и теплопотребителя [3]. При аналитическом методе в качестве функции цели для нахождения оптимальных характеристик или критерия сравнительной эффективности систем, различающихся параметрами или составом элементов, должна быть принята величина, учитывающая все последствия изменения этих характеристик. Изменения параметров и состава тепловой системы могут повлиять не только на затраты в процессе ее изготовления и эксплуатации, но и на продолжительность работы и ремонтов, т. е. на целевую отдачу в течение срока службы. Функция цели (или критерий) применительно к рассматриваемым системам в общем случае имеет вид

$$W = Q/Z_{\Sigma}, \quad (1)$$

где Q — целевая отдача, например, системы теплоснабжения объекта за срок службы, Гкал; Z_{Σ} — затраты, связанные непосредствен-

но с приобретением тепловой энергии на рынке, руб.

Естественно, что большему значению W соответствует лучшее техническое решение, а максимальному — оптимальное техническое решение (например, параметр или состав системы).

Целевая отдача системы может иметь различные формы. Например, в качестве целевой отдачи тепловой схемы может приниматься прибыль за весь срок службы. Для других систем целевую отдачу можно определить исходя из их назначения, но она должна иметь количественное выражение.

Затраты, связанные с непосредственным потреблением теплоты, состоят, как правило, из затрат K на создание теплоисточника, эксплуатационных затрат Z и потерь P в народном хозяйстве, связанных с замораживанием оборотных средств (в ряде случаев). Затраты на создание систем теплоиспользования установившейся серии реализуются в сравнительно короткие сроки. Поскольку на эти сроки характеристики системы не могут оказать сколько-нибудь заметного влияния, такие затраты можно считать единовременными и условно приходящимися на начало эксплуатации. Затраты Z и потери P относятся к процессу эксплуатации тепловых схем и систем.

Сложение разновременных затрат выполняются с учетом фактора времени. Применяя дисконтирование (приведение экономических показателей разных лет к сопоставимому по времени виду) и принимая за начало отсчета момент введения системы в эксплуатацию, имеем:

$$Z_{\Sigma} = K + \sum_{t=1}^{T_c} Z_t(1+r)^{-t} + \sum_{t=1}^{T_c} P_t(1+r)^{-t}, \quad (2)$$

где Z_t — эксплуатационные затраты в t -м году; P_t — потери вследствие недоиспользования тепловой энергии в t -м году; r — норма дисконта (например, $r = 0,1$); t — порядковый номер года эксплуатации системы теплопотребителя; T_c — срок службы, лет.

Эксплуатационные (текущие) затраты состоят из расходов на ремонт, смазочные, обтирочные и другие материалы, затрат на содержание обслуживающего персонала. Все виды эксплуатационных затрат, за исключением сезонных, в той или иной степени могут зависеть от характеристик систем. Исходной информацией для определения этих затрат служат технические характеристики системы в

целом, характеристики ее эксплуатационно-ремонтных циклов, расходы на различные виды ремонтов, цены на материалы, электроэнергию и др.

Потери в народном хозяйстве вследствие недоиспользования тепловой энергии в летний период связаны с возможным замораживанием оборотных средств и зависят прежде всего от уровня развития народного хозяйства и цены на тепловую энергию. При выработке большинства видов тепловой энергии эти потери значительно меньше затрат на создание и эксплуатацию технических систем, потребляющих теплоту, а при производстве высокочрезвычайных видов тепловой энергии они сопоставимы с другими видами затрат.

Если при нахождении оптимального значения некоторого параметра системы в известном диапазоне его изменения целевая отдача остается постоянной, то в качестве критерия может быть принята величина, определяемая уравнением (2), минимальному значению которой соответствует оптимальное значение параметра. Как правило, в этом случае неизменными остаются также потери вследствие недоиспользования тепловой энергии во время отопительного периода. Тогда в качестве критерия могут выступать затраты, приведенные к начальному моменту эксплуатации (или любому другому моменту времени), на постройку и эксплуатацию тепловой схемы (системы), которые называются приведенными затратами:

$$W_t = K + \sum_{t=1}^{T_c} Z_t(1+r)^{-t}. \quad (3)$$

С целью сокращения расчетов выбор лучшего технического решения целесообразно проводить не по значениям W_t , а по их разности:

$$\Delta = W_t' - W_t''. \quad (4)$$

Если по отношению к базовому варианту с W_t' значение Δ положительное, вариант с W_t'' лучше базового, а если отрицательное — хуже. Таким образом, максимальному значению Δ соответствуют оптимальные характеристики системы. Величину Δ называют приведенной годовой экономией в результате применения некоторого варианта вместо базового, хотя в общем случае она может быть как положительной, так и отрицательной. Эта величина является также критерием сравнительной эффективности систем с разными характеристиками (или функцией цели для

нахождения оптимальных значений этих характеристик). Однако, как следует из вышеизложенного, это справедливо, если в диапазоне изменения характеристик целевая отдача теплопотребителя и потери вследствие недоиспользования тепловой энергии во время отопительного периода остаются постоянными.

Процесс оптимизации характеристик системы заключается в количественном определении соответствующей функции цели (адекватного критерия), нахождении ее глобального экстремума и поведения вблизи этого экстремума. Последняя операция крайне важна для принятия конкретных технических решений, поскольку не все факторы учитываются при формировании функции цели (например, типизация технических решений, дискретный характер типоразмерных рядов энергетического оборудования, основные тенденции в создании и эксплуатации систем, возможности поставок на данный момент времени конкретного оборудования и др.). Поскольку определение целевой функции всегда связано с использованием неоднозначной информации, процесс оптимизации будет законченным с точки зрения принятия решения, если найден методом статистического моделирования критерий сравнительной эффективности как случайная функция, т. е. определены ее системные вероятности (и математическое ожидание) [5 – 7]. Такой подход рекомендуем при технико-экономическом обосновании вариантов реконструкции систем теплоснабжения и тепловых схем объектов как выводимых в капитальный ремонт, так и возводимых вновь.

Выводы

1. Проектирование, сооружение и эксплуатация систем теплоснабжения и других технических систем — комплексная технико-экономическая задача, решение которой должно минимизировать затраты на использование и преобразование тепловой энергии.

2. Характеристики технических систем и тепловых схем, а также степень автоматизации управления системой теплопотребителя являются оптимизируемыми величинами.

3. Нахождение оптимального параметра технической системы либо тепловой схемы сводится к формированию функции цели, ограничений и к определению ее глобального экстремума.

Список литературы

1. **Руководство** по оценке экономической эффективности инвестиций в энергосберегающие мероприятия / А. Н. Дмитриев, И. Н. Ковалев, Ю. А. Табунщиков, Н. В. Шилкин. — М.: АВОК-ПРЕСС, 2005.
2. **Соколов Е. Я.** Теплофикация и тепловые сети. — М.: Издательский дом МЭИ, 2006.
3. **Ведрученко В. Р., Жданов Н. В., Кульков М. В.** Выбор критерия оценки эффективности разработки и реконструкции тепловой схемы энергетической установки. — Вестник Сибирской автомобильно-дорожной академии (СибАДИ), 2008, вып. 7.
4. **Судовые трубопроводы** / Под ред. Х. Манна. — Л.: Судостроение, 1976.
5. **Кафаров В. В., Мешалкин В. П., Гурьева Л. В.** Оптимизация теплообменных процессов и систем. — М.: Энергоатомиздат, 1988.
6. **Бояринов А. И., Кафаров В. В.** Методы оптимизации в химической технологии. — М.: Химия, 1969.
7. **Шостак В. П., Гершаник В. И.** Имитационное моделирование судовых энергетических установок. — Л.: Судостроение, 1988.

krainovVV@omgups.ru