

ЭНЕРГЕТИКА

Г. Л. ПОЛИСАР и В. Я. ХАСИЛЕВ

ЗАДАЧИ ПОТОКОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ В СЛОЖНЫХ ТЕПЛОВЫХ СЕТЯХ И ИХ РЕШЕНИЕ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МОДЕЛЯХ*(Представлено академиком А. В. Винтером 8 VII 1950)*

На новом этапе развития теплофикации и централизованного теплоснабжения возникают схемы, отличные от получившей наибольшее распространение схемы радиальных двухтрубных водяных теплосетей с центральным регулированием. Особое значение имеет создание теплоснабжающих систем с параллельной работой различных источников на общий график тепловой нагрузки. Доказанная ранее⁽¹⁾ энергетическая эффективность параллельной работы не только разнотипных источников тепла, но и однотипных ТЭЦ значительно расширяет область применения параллельной работы в теплоснабжающих системах и требует осуществления новых режимов и схем с переменным потокораспределением в магистральных сетях при центральном, промежуточном и местном регулировании.

В этих условиях для целей проектирования и эксплуатации важное значение приобретает анализ гидравлических режимов, основанный на расчете потокораспределения в сети с заданными сопротивлениями и напорами на станциях; для расчета сложных сетей имеет значение и обратная задача — подбор сопротивлений (диаметров) по заданному расходу теплоносителя.

В литературе⁽²⁻⁵⁾ известен метод расчета потокораспределения в тепловых сетях (применяемый и в других областях трубопроводной техники), основанный на приеме суммирования сопротивлений S и условных проводимостей $1/\sqrt{S}$. Этот метод, так же как и метод „перемещения единицы объема“⁽⁶⁾, применим лишь в простейших случаях. Пользуясь этим методом, можно определить изменение потокораспределения в радиальной сети с одним источником питания, при полном отключении одного или группы потребителей, выключении насосной подстанции, изменении напора сетевых насосов.

Однако этот же метод совершенно неприменим для анализа переменных гидравлических режимов: а) при частичном выключении потребителей и подстанций, что для практики имеет наибольшее значение; б) во всех случаях кольцевания сетей, устройства перемычек между отдельными магистралями и т. п.; в) во всех случаях неодинаковых расходов теплоносителя в подающей и обратной магистрали на одних и тех же участках сети (непосредственный водоразбор из сети, схема с попутным движением воды в магистралях, трехтрубная схема и пр.); г) во всех случаях параллельной работы нескольких источников питания на общую тепловую сеть.

Известный графический метод расчета параллельной работы насосов на общую сеть, основанный на суммировании $G-H$ -характеристик, и его модификация применительно к параллельному включению насосов в сеть с участками заметно большей протяженности (7) также не могут быть использованы во всех случаях сложных тепловых сетей, где большое число потребителей питается несколькими источниками (см. рис. 1).

Как известно, для тепловых сетей, как правило, имеет место независимость коэффициента трения от скорости теплоносителя и, следовательно, потеря напора на отдельных участках в зависимости от расхода меняется по квадратичному закону ($H = SG^2$). Таким образом, для расчета переменного потокораспределения (для одного только режима) в сети, имеющей p участков и y узлов, включая узлы входа, не-

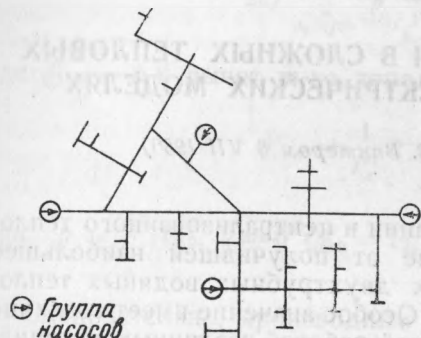


Рис. 1

обходимо решение системы, состоящей из $p - y + 1$ уравнений второй степени, записываемых на основании II закона Кирхгофа, и $(y - 1)$ уравнений первой степени согласно I закону Кирхгофа. Порядок уравнения, к которому может быть приведена такая система, весьма велик и составляет 2^{p-y+1} . Таким образом, для сети, состоящей, например, всего из 20 участков и 12 узлов, необходимо было бы составление и численное решение уравнения 512-й степени (!).

Очевидно, что во многих практических случаях и, главным образом, в исследовательской практике при анализе возможных гидравлических режимов в сетях, сооружаемых по новым схемам, расчет потокораспределения, основанный на методе последовательных приближений, теряет всякий смысл в силу своей громоздкости. Возникает насущная необходимость в нелинейном расчетном устройстве, позволяющем моделировать распределение потоков и напоров в тепловых сетях.

В общем случае, как известно, потери напора в трубопроводах связаны с расходом жидкости следующим соотношением:

$$H_i = S_i G_i^n, \quad (1)$$

где H_i — потеря напора в метрах на i -м участке, G_i — расход в т/час, S_i — гидравлическое сопротивление i -го участка в м·час ^{n} /т ^{n} , n — показатель нелинейности; для наружных тепловых сетей $n = 2$.

Осуществление электрического аналога нелинейных трубопроводных сетей возможно при наличии серии нелинейных электрических элементов с вольт-амперной характеристикой, подчиняющейся закону

$$u_i = k_i I_i^n, \quad (1')$$

где u_i — приложенное напряжение в вольтах на i -м участке, I_i — сила тока в амперах, k_i — коэффициент нелинейности в в/а ^{n} .

Эти элементы могут быть осуществлены в виде термисторов или варисторов с соответствующим коэффициентом и показателем нелинейности, или же в виде автоматических устройств, поддерживающих заданную зависимость между током и напряжением.

Модель трубопроводной сети должна быть представлена электрической сетью той же конфигурации, каждый i -й участок которой

обладает коэффициентом нелинейности k_i , соответственно пропорциональным гидравлическому сопротивлению S_i :

$$k_i = m_s S_i, \quad (2)$$

где m_s — масштаб гидравлических сопротивлений.

При выбранном масштабе для расходов $m_a = \frac{G_i}{I_i} \frac{\tau}{\text{а. час}}$ и для напоров $m_H = \frac{H_i}{u_i} \frac{\text{м}}{\text{в}}$ масштаб гидравлических сопротивлений определяется из соотношения $m_s = m_H / m_a^2$.

В литературе описаны⁽⁸⁾ отдельные опыты применения метода электрической аналогии для инструментального расчета водопроводных сетей.

В ВОДГЭО были выполнены различные электромеханические элементы для искусственного создания нелинейных зависимостей между током и напряжением. Однако данные о создании моделей из нескольких таких элементов и решении при их помощи задач по расчету разветвленных сетей не приведены.

Известны также⁽⁹⁾ попытки применения для указанных целей нитей накала электронных ламп, имеющих в небольшом диапазоне приложенных напряжений вольт-амперную характеристику типа (1') с показателем нелинейности $n = 1,83$.

В Энергетическом институте Академии наук СССР (ЭНИН) разработано и осуществлено несколько вариантов электрических моделей тепловых сетей. В одной из моделей используются в качестве нелинейных элементов автоматические электромеханические операторы, в других — электронные схемы и нелинейные элементы типа термисторов. Одна из моделей типа ЭНИН, находящаяся в эксплуатации, состоит из 33 нелинейных участков и 3 источников питания. При помощи коммутационного устройства может быть осуществлена любая конфигурация сети.

Разработано также и другое направление моделирования, отличающееся применением принципа обратной аналогии. В такой модели гидравлическим напорам соответствуют значения электрических токов, а расходы представлены значениями напряжений. Нелинейные элементы в этом случае должны иметь вольт-амперную характеристику вида

$$I = Au^n. \quad (3)$$

Конфигурация электрической схемы модели с такими элементами должна быть дуальной по отношению к конфигурации исходной трубопроводной сети.

На моделях, осуществленных в ЭНИН АН СССР, уже решен ряд задач по потокораспределению в тепловых сетях. При сопоставлении полученных результатов с расчетными данными обнаружены погрешности, не превышающие $\pm 2,5\%$.*

Этими результатами полностью подтверждается эффективность использования электрических нелинейных моделей для расчетной и диспетчерской практики. Их применение может дать значительный народнохозяйственный эффект как в процессе проектирования и строительства сетей за счет ускорения расчетов и экономии капиталовложений, так и в процессе эксплуатации — путем улучшения диспетчер-

* В наладке моделей и решении задач принимали участие Л. И. Андриевская и Л. В. Локтева.

ской службы, регулирования и обеспечения экономичных режимов работы сетей.

Авторы выражают благодарность проф. Э. А. Мееровичу и проф. Л. А. Мелентьеву за ряд ценных советов при выполнении настоящей работы.

Поступило
5 VII 1950

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ В. Я. Хасилев, ДАН, 68, № 2 (1949). ² Б. Л. Шифринсон, Отопление и вентиляция, № 11 (1935). ³ С. Ф. Кошьев, Теплофикация, 1939, стр. 106. ⁴ Е. Я. Соколов, Тепловые сети, 1949, стр. 142. ⁵ Л. Г. Скрицкий, Контроль и автоматика систем теплоснабжения, 1948, стр. 134. ⁶ П. Н. Каменев, Расчет воздухопроводов и водоструйных аппаратов по методу перемещения единицы объема, 1934, стр. 69. ⁷ Б. Л. Шифринсон, Е. З. Рабинович и М. Л. Закс, Электрические станции, № 11—12 (1942). ⁸ Н. Н. Геннеев и Н. Н. Абрамов, Водоснабжение, 1944, стр. 79. ⁹ T. R. Samp, Proc. New England Water Works Association (1943).