

## ОТОПИТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ

Северянин В.С.

### Введение

Первая особенность рассматриваемой темы – большой расход энергоресурсов на удовлетворение требований теплоснабжения – от жилищно-коммунального хозяйства до различных отраслей промышленности (отопление, кондиционирование, вентиляция). Теплота генерируется в основном в настоящее время в Беларуси за счет сжигания главным образом импортируемого органического топлива и используется потребителем непосредственно или через теплоносители. Известны экологические, технические, экономические проблемы этой инфраструктуры. Электроэнергия через различные электронагревательные устройства позволяет решить много вопросов из этих проблем, но до последнего времени у нас были ограничения по применению электроэнергии для создания требуемых температурных условий в различных помещениях. Главная причина этого – высокая стоимость электроэнергии. Следует напомнить, что электроэнергия производится на тепловых электростанциях, КПД которых – по второму закону термодинамики, порядка 40 %, т.е. для единицы электроэнергии требуется несколько единиц тепловой, получаемой при сжигании дорогого топлива. Поэтому технически проще сжигать топливо (здесь КПД высокий) и передавать потребителю теплоту горячих продуктов сгорания.

Вторая особенность рассматриваемой темы – развитие ядерной энергетики в Беларуси. Несмотря на дорогое ядерное топливо, дорогое техническое оформление ядерной энергетики, – стоимость электроэнергии, производимой ядерными электростанциями, существенно (в разы, а не на проценты) ниже электроэнергии, выдаваемой обычными электростанциями на органическом топливе. Основная причина этого – расход ядерного топлива в тысячи раз меньше, чем органического – для производства того же количества электроэнергии.

Именно поэтому ядерная энергетика бурно развивается во всем мире, даже в странах с большими запасами газа, нефти, угля. Островецкая

АЭС мощностью 2400 МВт при общей мощности всех электростанций РБ 7800 МВт позволяет исключить из импорта газового потока 30 % его.

Поэтому возникает насущная проблема развития в РБ электроиспользующих технологий. Это положение отражено в новой редакции Директивы №3 Президента Республики Беларусь «О приоритетных направлениях укрепления экономической безопасности государства» (Указ №26 от 26.01.16). В п.4 Директивы сказано: «Совету министров РБ совместно с Национальной академией наук Беларуси и другими заинтересованными организациями обеспечить... разработку и реализацию в 2016–2020 годах с учетом ввода в эксплуатацию Белорусской атомной электростанции мероприятий по увеличению доли электроэнергии в конечном потреблении энергоресурсов за счет замещения других видов топлива и энергии и внедрения новых перспективных электротехнологий...»

На основании вышеизложенного видно, что системы теплоснабжения являются целесообразным потребителем большого количества дешевой электроэнергии.

Электронагревательные приборы и устройства имеют длительную историю своего развития, разработано и применяются многочисленные электротеплогенераторы, однако для конкретных современных технических, экологических, социальных условий отопительные электротехнологии требуют дальнейшего совершенствования.

### Традиционные схемы и устройства

Электроэнергия в теплоту может переходить с высоким КПД непосредственно в объекте отопления (иногда используется термин «прямое электрическое отопление»), или через различные теплоносители – от теплогенератора до объекта, – а также специальные преобразовательные устройства. Далее эти различия не будут акцентироваться.

Доказанными достоинствами электрического отопления являются следующие факторы:

1. Особо высокие качества по регулированию и автоматизации теплоснабжения.

2. Уникальная транспортабельность энергоносителя, превосходящая этот показатель для всех других типов энергоносителей.
3. Повсеместное наличие электроэнергии, – не только благодаря развитым линиям электропередачи, но и возможностям индивидуального электропроизводства.
4. Возможность сочетания одним устройством как подвода теплоты в обслуживаемый объект, так и отвода.
5. Высокие гигиенические и эстетические качества оборудования, легко реализуемые соответствующими специалистами.
6. Быстрота нагрева, удовлетворение пиковых нагрузок, неравномерных графиков теплоснабжения.
7. Легкость строительно-монтажных работ, удобство эксплуатации, небольшие габариты.

Но, как показано выше, электричество – это «рафинированная» энергия, получаемая с большими «отбросами» исходных сырьевых ресурсов. Поэтому этот «минус» сдерживает и ограничивает реализацию «плюсов».

Сейчас же, с развитием мощной ядерной энергетики, возможно второе рождение электрических отопительных систем – на основе имеющих известных разработок и в перспективе – создание новых.

Наиболее распространенный метод электронагрева – «джоулево тепло», – теплота, выделяющаяся при прохождении тока через некоторое электрическое сопротивление:

$$Q = kI^2Rt,$$

( $I$  – сила тока,  $R$  – эл. сопротивление,  $t$  – время,  $k$  – коэффициент, зависящий от ряда условий).

Такие нагреватели представлены разнообразными проволочными и пленочными устройствами и аппаратами. Провода с соответствующей электроизоляцией и коммуникациями располагаются непосредственно в стенах, потолке, полу или в специальных панелях. Выпускаются так же греющие ковры, дорожки; нагреватели монтируются в мебели, постельных принадлежностях, подоконниках и т.д. Серийно производятся ТЭНы – трубчатые электронагреватели (тепловыделяющая нихромовая проволока с песочным электроизолятором внутри нержавеющей трубки). Эти нагреватели могут нагревать воздух, масло, воду в переносных электронагревателях, которые обеспечивают требуемую температуру воздуха в помещении.

Разновидностью этого класса нагревательных устройств являются электродные котлы, в кото-

рых теплота реализуется при прохождении тока в воде при помощи погруженных в нее электродов. Отмечаются достоинства этого метода: компактность, плавность, регулирование, отсутствие шлакования, низкая стоимость. Недостатки: обязательная водоподготовка, недопустимость закипания, регулярная замена электродов. Электродные котлы заменяют огневые установки, а подают теплоту в объект при помощи теплоносителя на обычные нагревательные приборы.

Особый тип отопительных приборов – инфракрасные излучатели, передающие теплоту в объект по законам лучистого теплообмена:

$$Q = \varepsilon C_0 \left[ \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \right]$$

( $\varepsilon$  – приведенная степень черноты системы обменивающихся теплотой тел,  $C_0$  – коэффициент излучения абс. черного тела;  $T_1$  – температура горячего тела,  $T_2$  – холодного).

Человек в помещении теряет тепло в основном за счет излучения, поэтому лучистые (или радиационные) системы отопления являются самыми комфортными. Перечисленные выше устройства частично также передают теплоту излучением, но сильная зависимость теплового потока от температуры горячего тела ( $T^4$ ) показывает целесообразность использования высокотемпературных излучателей (раскаленная проволока в фокусе параболического зеркала). Это уменьшает габариты нагревателя, т.е. капитальные затраты.

Достоинства «лучистого» отопления: мобильность во времени; влагоустойчивость; бесшумность работы; легкость обслуживания, монтажа, ремонта; быстрое действие; эти системы удобны для отопления высоких помещений, когда конвекционные не целесообразны.

Термоэлектрический метод подачи/удаления теплоты основан на явлении Пельтье: нагрев/охлаждение контакта разнородных проводников при пропускании постоянного тока. Тепловой эффект при этом:

$$\pm Q = Pq,$$

( $q$  – электрический заряд, проходящий через контакт,  $P$  – коэффициент Пельтье, зависит от материала проводников и температуры). Знак  $Q$  определяется подсоединением  $\pm$  источника тока. Таким образом, это явление весьма перспективно для организации кондиционирования среды в помещениях. Большим достоинством этих устройств является неограниченный срок службы, надежность, простота. Очевидно, требуется постоянный ток, т.е. со-

ответствующее оборудование.

Тепловые насосы – это технические устройства, потребляющие внешнюю энергию (в нашем случае – электроэнергию) для «перекачки» теплоты от низкотемпературного источника высокотемпературному объекту. Эффективность такой термодинамической машины характеризуется

отопительным коэффициентом  $\phi = \frac{Q_1}{Q_1 - Q_2}$

и холодильным коэффициентом  $\varepsilon = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2}$ , при

этом  $\phi > 1$  и  $\phi = \varepsilon + 1$ .

Здесь  $Q_1$  – тепло, переданное высокотемпературному объекту,  $Q_2$  – взятое у низкотемпературного источника,  $(Q_1 - Q_2)$  – энергия, затраченная на это, как показано в теоретической термодинамике (температурная аналогия вышеприведенному):

$$\phi = \frac{T_1}{T_1 - T_2} \text{ и } \varepsilon = \frac{T_2}{T_1 - T_2},$$

т.е. чем ближе температуры источника  $T_2$  и объекта  $T_1$ , тем выше  $\phi$ , эффективнее система. В этой термодинамической машине единица внешней энергии «перекачивает» несколько единиц теплоты (Но внешняя энергия сама по себе многозатратная субстанция, см. выше). Поэтому, если нет ограничений по внешней энергии (главным образом по цене, как для ядерной энергетики), тепловые насосы перспективны. Однако следует сразу же указать на сложность, дороговизну самих тепловых насосов.

В настоящее время наиболее освоены два типа тепловых насосов – компрессионные и термоэлектрические.

Первый тип содержит 4 основных элемента: конденсатор, компрессор, испаритель, дроссель. В испарителе рабочее тело (фреон, аммиак и др.) испаряется, охлаждается, отбирает теплоту  $Q_2$ . Газообразное рабочее тело в компрессоре сжимается и направляется в конденсатор, где при большем давлении, значит, при более высокой температуре конденсируется, передает теплоту  $Q_1$  примыкающей среде. В дросселе давление снижается до исходного, и цикл повторяется. Компрессор потребляет электроэнергию. Конденсатор может совмещаться с отопительной панелью или другим отопительным прибором, испаритель – с удобным источником низкопотенциальной теплоты (грунтовые воды, стоки, выбросы и т.д.).

Действие второго типа тепловых насосов основано на явлении Пельтье. Они собраны из батареи термоэлементов. «Горячие» спаи термо-

электродных проводов собраны в одном канале, «холодные» спаи – в другом. Каналы оборудованы вентиляторами, имеется выпрямитель тока и соответствующие переключатели.

Другие типы тепловых насосов (абсорбционные, струйные и т.д.) менее употребительны; все тепловые насосы действуют по общему термодинамическому принципу, потребляя энергию.

### Новые решения

В новой технико-экономической ситуации в энергетике страны следует решать проблему развития теплоснабжения по двум направлениям: 1) совершенствование имеющихся систем путем всемерного привлечения электроэнергии, и 2) разработка, создание, внедрение новых прогрессивных отопительных технологий на базе электроэнергии.

Не разрушая имеющихся теплогенераторов на органическом топливе, тепловых сетей, распределения тепла, подсоединений потребителей, можно кратко указать на такие мероприятия:

1. Перевод экономайзерных поверхностей нагрева котлов на электрический нагрев воды в трубах. Это осуществляется а) использованием металла труб в качестве «джоулевых» нагревателей, б) индукционным нагревом массы экономайзера, в) передачи ему функции элемента теплового насоса. Такой усовершенствованный котел должен работать при необходимости как на обычном топливе, так и на электричестве. Естественно, появляются новые задачи (тепло-электроизоляция, циркуляция воды и воздуха в котле и т.д.), но умеренный нагрев воды, отсутствие горения и загрязнений, новых помещений и коммуникаций (даже электрические уже имеются) позволяет надеяться на успешное решение этих задач.

2. Применение электродного нагрева воды в тепловых сетях, как в магистральных, так и в распределительных. Не нарушая всей и в частях инфраструктуры, в определенных местах врезаются электроизолированные электроды по всем правилам электротехники. Такая схема может как компенсировать теплотери в тепловых сетях, так и самостоятельно вести отопление, особенно при малых тепловых нагрузках.

3. Комбинирование тепловых насосов с обычными электронагревателями. Выше показано, что при повышении температуры низкотемпературного источника расход электроэнергии на «перекачку» теплоты уменьшается. Поэтому предварительный электронагрев может снизить общий расход электроэнергии на отопление тепловым насосом. Кроме того, для малых расходов теплоты может быть достаточным простой нагрев

предварительным электронагревателем.

4. Электрические теплоаккумуляторы являются удобным средством сглаживания тепловых нагрузок при работе систем отопления. Это качество особенно проявляется при использовании ночных провалов электропотребления. Необходимо только правильно решать вопросы размещения, регулирования, оплаты при использовании таких устройств. Новые материалы, эффективные конструктивные схемы, благоприятная тарифная политика обусловят широкое применение электро-теплоаккумуляторов.

Новые разработки по электрическим нагревательным (отопительным) приборам могут быть многочисленными, зависящим от конкурентных условий и требований. Поэтому их выбор обусловлен в первую очередь их ценой, т.е. простотой конструкции и использования, минимальными капитальными затратами, максимальной эффективностью.

Например, предлагается съемная панель на стену в виде ковра размером несколько м<sup>2</sup>. В толще ковра смонтированы нагревательные элементы проволочного или пленочного типа, но поверхность ковра имеет сквозные отверстия определенной формы и количества. Ковер – панель подвешивается на стенке с зазором несколько сантиметров (решетчатая подкладка), и в этом зазоре, с нижнего края устройства, смонтирован тангенциальный вентилятор. В этом главное отличие от аналогичных нагревателей. Тангенциальный вентилятор представляет собой трубу (длиной 2–3 м, диаметром 5–7 см) с продольной щелью. Внутри трубы, вдоль всей ее оси, вращается комплекс вентиляционных лопаток (такие вентиляторы используются в воздушных завесах, сплит-системах и т.д.). Вращение создает электродвигатель малой мощности. Вентилятор выдает широкую струю воздуха из щели в зазор между ковром и стеной; воздух, подогретый нагревательными элементами, выходит в помещение через упомянутые отверстия в ковре. Таким образом, в этом отопительном приборе сочетаются радиационный и конвекционный тепловые потоки в помещение. Подогрев воздуха – до 18–24 °С, поэтому работа материала устройства не представляет затруднений.

В нагревательных (отопительных) приборах, расположенных непосредственно в помещениях, использование индукционного высокочастотного нагрева теплоносителя нужно избегать из-за электромагнитного излучения, требующего существенной экранизации. Поэтому целесообразны внешние индукционные теплогенераторы, питающие помещения теплом при помощи те-

плоносителей. Такие схемы реализовать относительно просто.

Интересны предложения по созданию так называемых электрических трибомеханических теплогенераторов. В них теплота получается за счет трения внутри слоев жидкой или газовой среды или между специальными элементами механического устройства. Относительное перемещение создается электродвигателями или силами Лоренца (электромагнитное поле на проводнике). Такие нагреватели могут также реализовать функцию насоса для теплоносителя.

Системы электрического отопления на базе автономных индивидуальных электрогенераторов (солнечные батареи, микро АЭС, ветро-гидроустановки, геотермальные термодарные источники, электроаккумуляторы большой емкости) при условии наличия относительно дешевой и доступной общегосударственной электроэнергетики не всегда целесообразны как по техническим, так и экономическим причинам. Они весьма подходят для автономных, отдаленных теплопотребителей (полярные станции, экспедиции, временные поселки, турбазы, курорты).

#### Заключение

1. Развитие ядерной энергетики в РБ приводит к целесообразности использования электроэнергии в системах теплоснабжения в жилищно-коммунальном хозяйстве и промышленности, при этом снижается потребность в импортируемом органическом топливе.

2. В существующих системах теплоснабжения перевод на электрическую базу не представляет принципиальных затруднений; вместе с тем необходимо развивать новые направления физико-технических приложений электроэнергетики в теплоснабжении. Возможны новые схемные решения, конструкции, физические явления. Изменяется автоматика, действия аккумуляторов теплоты, эксплуатация, техника безопасности. Особые замечания возможны при разработке тарифов за пользование электрическим теплоснабжением.

3. Единая энергосистема позволит повысить надежность теплоснабжения, организовать экспорт/импорт электроэнергии с целью замены топлива как энергоресурса, ибо реализовать потоки электричества намного проще и целесообразнее, чем дальний транспорт любого вида топлива (кроме ядерного из-за его малого удельного количества).

4. Электрическое теплоснабжение снижает требования к энергосбережению в строительстве и коммунальном хозяйстве, экономя, например, на дорогих строительных материалах.