

Calefacción urbana nuclear en los países miembros del CAME

Se han elaborado varios enfoques con miras al uso de las centrales nucleares como fuentes de calor

por V.L. Losev, M.V. Sigal y G.E. Soldatov

Históricamente, las fuentes de energía nuclear se han utilizado sobre todo para producir electricidad. La industria de generación de energía de la Unión Soviética también ha seguido la vía de ampliar principalmente su capacidad para generar electricidad a partir de la energía nuclear. Hoy en día la capacidad instalada de las 45 centrales nucleares de la Unión Soviética asciende a unos 35 gigavatios eléctricos (GWe). La generación de energía nucleoelectrónica se centra fundamentalmente en el uso de reactores de vasija de presión moderados y refrigerados por agua (VVER) (unidades de potencia producidas en serie con una generación eléctrica de 440 y 1000 megavatios), y los reactores de canales, refrigerados por agua y moderados por grafito del tipo RBMK (unidades de potencia producidas en serie con una generación eléctrica de 1000 y 1500 megavatios). Las unidades de reactores VVER creadas por especialistas soviéticos también han servido de base para el desarrollo de la generación de energía eléctrica en los países miembros del Consejo de Ayuda Mutua Económica (CAME).

Cuando la industria de generación de energía nucleoelectrónica se encontraba en una etapa inicial de desarrollo en la URSS, ya estaba claro que centrarse únicamente en la producción de electricidad no resolvería adecuadamente el problema básico que agobiaba a la industria: sustituir el escaso combustible orgánico en la economía de energía y combustible del país. La única forma de resolver este problema consiste en extender la energía nuclear hacia una esfera de alto consumo de combustible como es la producción de calor para la calefacción comunitaria y doméstica y para los consumidores industriales (para este fin se utiliza 1,5 veces más combustible que para la producción de electricidad). En los países miembros del CAME que disponen de menos recursos de combustible fósil que la URSS, este problema es aún más agudo.

El plan de desarrollo de la calefacción urbana "nuclear" elaborado por especialistas soviéticos para atender las necesidades del sector del combustible y la energía del país permite combinar cuatro enfoques diferentes:

- el uso de la extracción no controlada de vapor procedente de turbinas de las centrales eléctricas de condensación;
- la construcción de centrales nucleares mixtas de calefacción urbana y condensación con turbinas de alta contrapresión (TK) (calefacción urbana y condensación con extracción controlada de vapor);
- la construcción de centrales nucleares de un solo propósito que producen únicamente energía térmica para la calefacción comunitaria y doméstica (CNC);
- la construcción de centrales nucleares especializadas para proporcionar calor industrial que, gracias a las nuevas características técnicas incorporadas al diseño, podrían ubicarse en las inmediaciones de los lugares de consumo y utilizarse para producir calor y electricidad, o solamente calor.

Hasta el momento los tres primeros enfoques son los más desarrollados desde el punto de vista técnico. El uso de la extracción no controlada de vapor de las turbinas de las centrales nucleares en explotación y en construcción ocupa un lugar especial entre estos diversos enfoques. En la práctica, esta es la única forma de calefacción nuclear que se ha aplicado hasta la fecha. Comenzó hace más de veinte años cuando se creó un sistema de suministro de calor procedente de la central de Beloyarsk para proveer de calor y agua caliente a los edificios y estructuras del propio emplazamiento de la central y a las zonas residenciales adyacentes. Luego, este enfoque fue introducido también en otras centrales. La producción total de los sistemas de calefacción de las centrales que ya están en funcionamiento es impresionante: más de 3000 megavatios térmicos (MWt) a principios de 1989.

Las diversas turbinas que se utilizan en la actualidad en dichas centrales nucleares, y las que se están fabricando para las centrales en construcción, tienen diversas capacidades para la producción de calor destinado a la calefacción urbana. (Véase el cuadro adjunto.)

Las características de diseño de los sistemas de suministro de calor a partir de centrales nucleares se basan en las necesidades de seguridad radiológica actuales de los consumidores de energía térmica. Así, el agua de calentamiento circula en un circuito terciario (en relación con el núcleo del reactor). La presión de este circuito se mantiene por encima de la máxima presión posible del nivel más alto de vapor no controlado

El señor Soldatov es Director de División, y los señores Sigal y Losev son altos funcionarios del Instituto de Investigaciones Científicas para la Explotación de Centrales Nucleares de Todas las Repúblicas de la Unión, situado en Moscú.

Características de las unidades de calefacción urbana nuclear del tipo de extracción de vapor

	Número de turbinas en la unidad y el reactor	Capacidad garantizada de calefacción del vapor de extracción (MWt)	Intervalo de temperatura del agua caliente (°C)
K-220-44	2 × VVER-440	29 × 2	130/70
K-500-65/3000	2 × RBMK-1000	87 × 2	150/70
K-750-65/3000	2 × RBMK-1500	116 × 2	165/70
K-1000-60/1500-2	1 × VVER-1000	232	150/70
K-1070-60/1500-3	1 × VVER-1000	1047 y más	170/70

extraído, lo que impide que los productos radiactivos penetren en el agua de calentamiento si se produce una pérdida de integridad en la superficie de intercambio de calor de las calderas. En las centrales con reactores RBMK, los sistemas de calefacción tienen un circuito de refrigeración intermedio entre la extracción de la turbina y el agua de calentamiento. La presión del circuito intermedio se mantiene más alta que la presión del vapor, pero más baja que la presión del circuito de calefacción urbana. En las centrales con reactores VVER, el agua de la red de distribución se calienta en los calentadores de la misma red mediante el vapor extraído de la turbina. La presión más alta del vapor extraído es más baja que la del circuito del reactor y la del circuito de la red de distribución. Para impedir la contaminación radiactiva del agua de calentamiento en condiciones de accidente, el intercambiador de calor se cierra tanto para el vapor de calentamiento como para el agua caliente de la red de distribución. También se mantiene una vigilancia constante de los niveles de radiactividad en el agua de calentamiento.

Es importante, y una idea económicamente atractiva, que se haga el mayor uso posible de la capacidad existente de sistemas de calefacción urbana en las centrales nucleares. Aun cuando se prevea alguna reducción en la producción de electricidad a causa de la extracción de vapor para la calefacción urbana, el uso de centrales nucleares de doble propósito (generación de energía eléctrica y térmica) con unidades de potencia VVER-440 disminuye el volumen de combustible inorgánico utilizado en unas 30 000 toneladas equivalentes de carbón anuales por cada unidad nuclear. Se pueden lograr economías aún mayores cuando las centrales con unidades de potencia VVER 1000 se dedican a la calefacción urbana centralizada. El volumen de combustible orgánico que se ahorra con cada unidad de potencia de este tipo llega a alcanzar de 130 000 a 750 000 toneladas equivalentes de carbón anuales, según el tipo de turbina instalada.

Pese a este importante incentivo, en la mayor parte de las centrales nucleares no se hace el máximo uso de esta capacidad para generar calor. Ello se debe a que la ubicación de la central no siempre es ideal en relación con los posibles consumidores del calor. Los consumidores "garantizados" (dentro de la central y en sus sectores residenciales asociados) suelen utilizar sólo una pequeña parte de la producción total de calor potencial proveniente de una unidad de calefacción urbana. Se calcula que el consumo total de calor que hacen los usuarios

en el emplazamiento asciende por regla general a unos 30 MWt por cada unidad de potencia con una generación eléctrica de 1000 ó 1500 MWe. Asimismo, se calcula que el consumo total de calor de los usuarios de los sectores residenciales asociados a la central no excede de 260 MWt. En los sistemas de calefacción comunitaria y doméstica (calefacción, agua caliente, ventilación) las fuentes nucleares tienen régimen de carga básica y funcionan conjuntamente con las fuentes de régimen máximo que utilizan combustible orgánico. Como resultado de ello, en una planta de 4 unidades con VVER-1000 producidos en serie y una turbina K-1000-60/1500-2, la "carga" óptima de la parte nuclear de la central de calefacción urbana a causa de las necesidades del emplazamiento (el interior del complejo y los sectores residenciales) no excede de unos 230 MW, mientras que la capacidad total es casi cuatro veces mayor. Así, en las centrales modernas que trabajan al nivel de la potencia de diseño, hay una capacidad bastante grande que podría aprovecharse para la producción de calor.

La vía más sensata sería utilizar esta capacidad disponible para suministrar calefacción centralizada a los consumidores de la región adyacente; es decir, los complejos industriales y residenciales. Pero estos planes tropiezan con varias limitaciones. Consideraciones de índole técnica y económica dictan una zona de cobertura específica para cada sistema de calefacción centralizada por cada central nuclear.* Más allá de esa zona, el costo total que impone compensar la subproducción de electricidad (dado que la planta funciona en un régimen de producción de calor) y transferir el calor al lugar de consumo sobrepasa las economías que podrían lograrse sustituyendo el combustible orgánico. El tamaño de esta zona de cobertura depende de las condiciones climáticas de la región (que influyen en el régimen de producción de calor), el costo en relación con el combustible orgánico sustituido, la cantidad de calor generado por la central nuclear, las condiciones reales que existen para el tendido de la línea de transferencia de calor desde la central hasta los complejos industriales y residenciales en que se utilizará el calor, el tipo de equipo de generación instalado en la central, y algunos otros factores. Otra consideración importante es la cuestión de cuáles

* "Uso de centrales nucleares como fuentes de calor para complejos industriales y residenciales y para complejos energéticos en la agricultura", por Losev, V.L., Sigal, M.V., et al., *Teploenergetika* 8 (1988) (en ruso).

modalidades sustitutivas de calefacción urbana pueden utilizarse realmente en la zona para establecer una comparación realista con la calefacción suministrada por las centrales nucleares. No resulta muy fácil tomar en cuenta estos factores cuando se va a construir centrales nucleares, ya que la cercanía de un consumidor potencial de calor no es el único criterio, y con frecuencia tampoco el más importante, en el proceso de autorización del emplazamiento. Los requisitos de seguridad radiológica que se aplican actualmente en la URSS reglamentan la distancia mínima permisible desde el emplazamiento de la central nuclear hasta las principales zonas pobladas. Así, por ejemplo, en el caso de una central que genere 4000 MWe, esta distancia varía de unos 25 km (si la densidad de población en la zona es de 100 000 a 500 000 habitantes) a 100 km (si la densidad de población es mayor de 2 millones de habitantes). Con todo, por un gran número de razones, los emplazamientos de las centrales nucleares tienen que estar ubicados mucho más allá de las distancias normales antes mencionadas. De ahí que en la mayor parte de las centrales nucleares que se encuentran en explotación actualmente haya importantes reservas de producción de calor que aún no se han utilizado.

Centrales en explotación y previstas

Existen varios ejemplos de utilización eficaz del calor nuclear. La central nuclear de Balakovo, por ejemplo, suministra calefacción a la ciudad de Balakovo (la ciudad está a 12 km de la central, y la necesidad de calor es de más de 1000 MWt), la central de Rostov suministra calefacción a la ciudad de Volgodonsk (a 13 km de la central, necesidad de calor de más de 1000 MWt), la central de Tatarsk suministra calor a la ciudad de Nizhnekamsk (a 40 km de la central, necesidad de calor de hasta 2000 MWt), y la central de Bashkir, a la ciudad de Neftekamsk.

En países miembros del CAME también se suministra calor a los consumidores a cierta distancia de las centrales nucleares, o se prevé hacerlo. En la República Democrática Alemana, la central nuclear Bruno Leuschner ha estado suministrando calefacción urbana a la ciudad de Greifswald desde 1984 (a 22 km de la central, producción de calor: 260 MWt). En estos momentos se está planificando para la ciudad de Magdeburgo un sistema de calefacción, que se basa en la central de Stendhal, la cual se encuentra en construcción (distancia de la central: 95 km).

En Checoslovaquia se prevé equipar todas las centrales con reactores VVER-440 (12 unidades de potencia en total) para la calefacción urbana: la central de Bohunice suministrará calor a la ciudad de Trnava, la de Dukovany a la ciudad de Brno, y la de Mochovice a la ciudad de Levice. Se prevé organizar el suministro de calefacción a la ciudad de Ceské Budejovice desde la central de Temelín. Las redes de distribución de calor de estas centrales son muy extensas y la producción de calor es bastante alta (por ejemplo, la tubería conductora de calor que se extiende desde la central de Dukovany hasta Brno tiene una longitud de 40 km y la producción de calor se calcula en 500 MWt).

En Polonia se está considerando la idea de utilizar la central nuclear de Zarnowec para suministrar calefacción

a la zona de Gdansk-Gdynia (la central está a 75 km de Gdynia). También se prevé suministrar a la ciudad de Poznan calefacción proveniente de la central que se proyecta construir en Warta.

En Bulgaria se encuentra en la etapa de desarrollo un proyecto de sistema de calefacción urbana basado en la central nuclear de Belene, el cual prestará servicios a las ciudades de Pleven (58 km), Svishtov, y Belene. La producción total de calor calculada para estas ciudades sería de unos 700 MWt. También se prevé utilizar la central de Kozloduj para suministrar calor a la ciudad de Kozloduj.

Las características técnicas que se pretende incluir en los sistemas de producción de calor de estas centrales son similares en muchos sentidos a las que se mencionó que se utilizaban en la URSS para el suministro de calor generado en centrales con reactores VVER. Cabe señalar que los países miembros del CAME cooperan estrechamente en la solución de los problemas relativos a la calefacción urbana nuclear. Esta cooperación se coordina en virtud del programa amplio de desarrollo científico-técnico hasta el año 2000 que ha sido aprobado por esos países.

Como ya se indicó, además del uso de las centrales en explotación y de las que están en construcción para proporcionar calefacción urbana, se han adoptado decisiones técnicas con miras a crear fuentes de calefacción nuclear especializadas —tanto las centrales de doble propósito generadoras de calor y electricidad (CNCE), como las centrales nucleares de un solo propósito suministradoras de calefacción urbana (CNC). El programa de desarrollo de la generación de energía de la URSS, que ya ha sido aprobado, incluye planes de construcción de varias centrales de estos tipos desde ahora hasta el año 2000.

Se ha desarrollado un diseño de CNCE para la región europea de la URSS, basado en instalaciones de reactores VVER-1000 y unidades de turbina nuevas (turbinas TK-450/500-60/3000) con extracción controlada de vapor y una alta producción térmica.* Una central de este tipo, con dos unidades CNCE puede asegurar una producción térmica de hasta 2100 MW. El plan preveía la puesta en servicio de por lo menos tres centrales de ese tipo para el año 2000, en Odessa, Minsk y Jarkov. Cabe señalar que esas centrales no son simplemente centrales de calefacción urbana sino que constituyen unidades mixtas de calefacción y condensación (debido a que las turbinas que en ellas se emplean tienen una considerable capacidad agregada de condensación). No obstante, este hecho es inevitable cuando se emplean reactores con un elevado nivel de producción unitaria.

El examen de la política técnica con respecto a la generación de energía nucleoelectrónica a raíz del

* En el lejano norte de la URSS, desde 1974 funciona satisfactoriamente la primera CNCE del país, que posee cuatro unidades de potencia con reactores electrohidráulicos de tipo convertidor y turbinas generadoras de calor con extracción controlada de vapor (CNCE de Bilibino).

Véase "Centrales nucleares de calor y electricidad para el suministro de calefacción a ciudades y conjuntos de distritos urbanos", por Kuznetsov, Yu. A., Sajarov, A. G., Abrosimov, A. F., en: *V International Conference on Centralized District Heating*, 7-10 de septiembre de 1982, Kiev, Colección de Informes, Sección II, Edición 1, informes 11-29 (en ruso).

accidente de Chernobil produjo un cambio de actitud en cuanto a los diseños de CNCE que ya se había elaborado. Como los emplazamientos de las centrales se habían seleccionado a fines del decenio de 1970 y principios del de 1980 (es decir, cuando los requisitos en vigor eran menos rigurosos que los actuales), las CNCE de Odessa y Minsk no se avenían al nuevo enfoque de seguridad y se detuvo su construcción. También se detuvo el trabajo de diseño de la central de Jarkov.

El diseño de una central atómica de un solo propósito para el suministro de calefacción urbana (CNC) se elaboró en la URSS paralelamente al proyecto de las CNCE.

Esto se hizo debido a que en algunos casos la construcción de centrales de calefacción-condensación está limitada por la falta de agua de tratamiento, de la cual se requieren grandes cantidades para refrigerar los condensadores de las turbinas que poseen una gran capacidad de condensación "añadida", y debido a que en algunas regiones no existe demanda de capacidad de electricidad adicional, entre otras razones. Se diseñó especialmente para la CNC un reactor refrigerado y moderado por agua con una producción por unidad de 500 MWt. Esta central AST-500 de un solo propósito puede ubicarse en las inmediaciones de los centros de población, es decir, hasta a 5 km de los límites de la ciudad.* El proyecto AST-500 se está ejecutando actualmente en las ciudades de Gorki y Voronezh. Pese a que se había previsto construir varias CNC en la región europea de la Unión Soviética, la actitud negativa del público respecto de la energía nucleoelectrica luego del accidente de Chernobil ha demorado (y, en algunos casos, puesto en tela de juicio) la ejecución de algunos proyectos de energía nucleoelectrica cuya construcción se había previsto.

En los países miembros del CAME existe un interés marcado en las centrales de calefacción nuclear de un solo propósito. Cabe señalar, no obstante, que a causa de la índole específica de la construcción urbana estos países requieren instalaciones con mucha menos capacidad que las que se utilizan normalmente en el sistema de generación de energía eléctrica de la URSS. En vista de ello, la URSS ha elaborado un diseño de reactor con una producción por unidad de 300 MWt y características técnicas semejantes a las utilizadas en el AST-500. Además, en cooperación con organizaciones especializadas de los países miembros del CAME, se está trabajando en la construcción de instalaciones con una producción incluso inferior.

Además del trabajo destinado a mejorar los diseños de las centrales especializadas de calefacción nuclear, y el desarrollo de nuevos tipos de reactores para esas cen-

trales, la búsqueda de medios para utilizar más plenamente las posibilidades de producción de calor de las centrales nucleares existentes reviste gran importancia práctica. El análisis indica que en el futuro este tipo de fuente dominará durante mucho tiempo la infraestructura de energía nucleoelectrica de la URSS y de los países miembros del CAME.

Hay dos enfoques en particular que parecen sumamente prometedores:

- el uso de la capacidad disponible de las instalaciones de calefacción de las centrales nucleares para el suministro de calor industrial a largas distancias;
- la conversión de las centrales nucleares que han sobrepasado su vida media de servicio en un sistema de CNC (en que el reactor funciona con una potencia reducida y en un régimen menos intensivo).

La aplicación del primero de estos enfoques permitirá ampliar sustancialmente el grupo de usuarios potenciales de la energía térmica proveniente de fuentes de energía nucleoelectrica e introducirá la energía nuclear en la esfera del suministro de calor industrial, que se caracteriza por un consumo de combustible muy intenso. El trabajo de desarrollo realizado en la URSS y Checoslovaquia ha demostrado que, en lo que se refiere al suministro de calor a larga distancia a consumidores industriales, desde el punto de vista económico tiene sentido emplear un sistema en que el calor se transfiera en forma de agua caliente a presión desde la central nuclear hasta el lugar de consumo. Allí el agua caliente se utilizaría para producir vapor con los parámetros requeridos en el equipo del usuario (preferiblemente termocompresores).* En la actualidad este trabajo está llegando a su fase de aplicación técnica.

El segundo enfoque está actualmente en una etapa más temprana de desarrollo, pero es en extremo importante que se halle una respuesta idónea, ya que ayudaría a resolver dos problemas de una vez: en primer lugar, prolongar la vida operacional del equipo principal en una fuente de energía nuclear y, en segundo lugar, establecer fuentes centralizadas de suministro de calor en gran escala durante un período breve y a un costo comparativamente bajo.

En conclusión, podemos afirmar con confianza que el uso de fuentes de energía nuclear para la calefacción urbana centralizada es una esfera que se ha explorado adecuadamente desde el punto de vista técnico, se ha introducido ampliamente y resulta muy prometedora.

* "Transferencia a larga distancia de agua de calefacción desde centrales nucleares para suministrar vapor a los consumidores", por Sigal, M.V., Gusakov, V.I., Dlugosel'skij, S.V., *Teploenergetika* 12 (1987) (en ruso), y "Los problemas y el empleo de la termocompresión de vapor de agua", por Petrovski, I. en: *Symposium on exchange of experience of CMEA member countries*, Vol. 2, Praga (noviembre de 1986) (en ruso).

