

инж. Эдуард Метке, к.т.н., инж. Петер Шкварка, к.т.н.
Поставка тепла из атомных электростанций Ясловаке Багунице

1. Введение

Рост поставок тепла в прошлом десятилетии обеспечивался прежде всего на базе жидкого и газообразного топлива. Продолжать в этом направлении обозначало бы для ЧССР неприемлимую нагрузку народного хозяйства импортом этого топлива. Из за этого необходимо использовать для теплоснабжения способы, позволяющие возместить импортируемое топливо другими источниками.

Классические (городские) ТЭЦ и котельные мы будем продолжать строить лишь в тех местах, где не возможно обеспечить теплоснабжение из конденсационных электростанций. В основном необходимо предпочитать комбинированную выработку электроэнергии и тепла, поэтому в обоснованных случаях не теряют свое значение даже малые ТЭЦ, которые являются наиболее эффективными решениями в тех местах, где не возможно рассчитывать на интеграцию в большие системы и где имеются и другие подходящие условия.

Районные теплофикационные системы, снабжаемые из конденсационных электростанций, являются необходимой предварительной стадией последующего постепенного перехода к ядерным источникам.

Ядерными источниками, используемыми для теплоснабжения, станут атомные электростанции, которые подчиняются одинаковому принципу как конденсационные, а именно что каждая атомная электростанция должна быть использована и для поставки тепла. К этому направляется и будущая локализация новых атомных электростанций.

Применение нерегулируемых отборов конденсационных турбин атомных электростанций может предоставить большую тепловую мощность, удовлетворяющую и самым большим районам системы централизованного теплоснабжения. Из одного блока 440 МВт ВВЭР из двух турбин 220 МВт возможно получить тепловую мощность до 465 МВт и из блока 1000 МВт из турбины 1000 МВт максимальную тепловую мощность 990 МВт.

Ориентировочные соображения в этом направлении показывают

возможность обеспечить в ЧССР до 2000 г. поставку тепла из ядерных источников в размере приблизительно 41 тыс. ТДж/год. Это позволило бы освободить приблизительно 1,64 мил. т. у. т./год.

2. Районная система теплоснабжения при АЭС Ясловске Богунце

Первую возможность использовать ядерную энергию для теплоснабжения в ЧССР предоставляет реализация комплекса атомных электростанций в Ясловске Богунце недалеко от города Трнава. Трудности при обеспечении теплофикации этого города классическим источником, главным образом при получении подходящей стройплощадки, территории для свалки зола, гигиенические проблемы и трудности связанные с обеспечением топливной базой привели к идее обеспечить покрытие требований на тепловую энергию поставкой из Атомной электростанции Богунце (ЭБО). С 1983 г. осуществляется строительство. Трнава станет первым городом в ЧССР, где будет применяться ядерная энергия для снабжения промышленности и населения теплом. Вопреки тому, что реализация этой стройки потребует построить тепловые линии 2 x Ду 700 длиной 22 км, экономические показатели значительно лучше угольной ТЭЦ, подготавливаемой вплоть до решения об реализации тепловой линии.

Для более тщательного использования большого источника тепловой энергии, каким является атомная электростанция, рассматриваются возможности образования районной системы теплоснабжения. В случае атомных электростанций Богунце рассматривается район с городами Трнава, Глоговец, Леопольдов, Пьештин и Нове Место над Вагом.

Возможное использование первичного источника ЭБО показано на рис. 1 и этому соответствующие тепловые отборы на рис. 2.

Подготовка и строительство комплекса атомных электростанций в Богунце проходили в период, когда проблематика использования источника такого рода для теплоснабжения не была разработана в такой ширине и глубине, как это в настоящее время. Поэтому проектная документация электростанции не учитывала

возможность отвода тепла. Техническое решение было вынуждено требованием минимального воздействия на оборудование электростанции. Для первого этапа поставки тепла в Триаву решен обогрев воды в центральной теплообменной станции с мощностью 240 МВт при двухступенчатом нагреве до 130°С паром на разделительного давления турбины атомной электростанции В-2. При соблюдении таким образом предлагаемого отвода тепла после окончания строительства целой районной системы теплоснабжения в горячей воде, которая будет представлять приблизительно 500 МВт, возникнут в последствии неволевого использования теплового перепада при этом отводе потери приблизительно 20 МВт на выработку электроэнергии. Поэтому в задаче государственного плана, решающей окончании эксплуатации АЭС А-1 применилось обсуждение использования 2-ого контура для целей теплоснабжения. Результаты работ показывают, что это решение при соблюдении основного решения турбогенераторов А-1 не является эффективным, даже энергетически менее выгодным чем прямая поставка тепла на разделительного давления турбины 220 МВт в теплообменную станцию. В настоящее время обсуждается технико-экономическая целесообразность установки новой сателитной турбины, которая вопреки трудоемкому техническому решению отвода тепла на АЭС В-1 может быть экономически эффективной.

Неблагоприятным явлением использования тепла на атомных электростанциях является то, что задерживается решение использования низкопотенциального тепла, которое может найти широкое применение в преобразовании продуктов питания. Подготавливается опытное использование тепла на ЭБО в области рыбоводства, тепличного хозяйства и подпочвенного обогрева. Масштаб подготавливаемого хозяйства не представляет использование значительного количества тепла, но с точки зрения подтверждения эксплуатационной надежности и экономической эффективности может быть импульсом для дальнейшего развития.

3. Техническое решение отвода тепла из блока АЭС

Из первых двух блоков атомной электростанции В-1 Ясловске Богумице дополнительно потребовалась возможность отбора тепла для теплоснабжения города Трнава, турбина позволяет без изменения конструкции отбор тепла в размере до 60 МВт при подогреве отопительной воды с 70 °С до 150 °С. Это будет первая реализация поставки тепла из ядерного источника на территории ЧССР.

У проектируемых турбин для атомной электростанции Моховце требуется отбор тепла в размере 100-120 МВт при трехступенчатом подогреве отопительной воды с 60 °С до приблизительно 150 °С. (Практически одинаковое требование появляется на турбины 220 МВт для АЭС Дукованы, учитывая теплоснабжение города Брно). Осуществление показано на упрощенной тепловой схеме на рис. 3. Для теплофикации применяются существующие отборы для регенеративных подогревателей конденсата:

- 3-ий отбор ЦНД турбины,
- 5-ый отбор после ЦВД турбины,
- 6-ой отбор одного потока ЦВД турбины.

Для обеспечения отвода 120 МВт для теплоснабжения необходимо увеличить размеры отборного трубопровода, главным образом у ЦВД турбины и с учетом повышенной статической и динамической нагрузки облапачивания усилить рабочие лопатки первых трех ступеней ЦНД.

Отношение полученной тепловой мощности к потерям электрической мощности для этого случая равно приблизительно 5,70.

Как показывают студии разработанные в последнее время, относительно большой реконструкцией ЦНД турбины - главным образом относительно отборного трубопровода для основного подогревателя отопительной воды, которую необходимо отводить тоже из верхней части ЦНД - возможно повысить размер теплофикационного отбора до 200-300 МВт. Кроме размеров отборных трубопроводов (при предельной скорости отборного пара) является вторым ограничивающим параметром минимальный допустимый объемный расход через последние ступени ЦНД, при котором начинает появляться обратное течение в ступени с последующим повышением

возбуждающей силы и возможность вибрации лопаток с недопустимой динамической нагрузкой.

Отвод тепловой мощности в АЭС Ясловске Вогунице осуществляется через подогреватели сетевой воды теплообменной станции, находящейся вне машинного зала главного производственного блока (ГПВ).

В случае переработки внешних проектов было бы возможно разместить подогреватели сетевой воды у новых электростанций с реакторами ВВЭР 440 тоже в машинном зале ГПВ.

У реакторных блоков типа ВВЭР 1000 с турбинами 1000 МВт системы ШКОДА учитывается отбор тепла макс. 650 МВт при двухступенчатом подогреве воды с 60 °С до 120 °С и макс. 950 МВт при подогреве воды с 60 °С до 150 °С при трехступенчатом подогреве. Подогреватели сетевой воды предполагается разместить в машинный зал ГПВ.

В ряде перечисленных решений отвод тепловой мощности непосредственно связан с реакторным блоком и главным образом с турбоустановкой. Подогреватели сетевой воды включены параллельно к регенеративным подогревателям турбины. Это является важным недостатком с точки зрения окончания работ соответствующего блока (которая рассчитана на 25-30 лет) и необходимости поставки тепла из ядерного источника не менее 100 - 150 лет.

Этот недостаток может устранить решение отвода тепловой мощности из атомной электростанции с помощью сателлитной нагревательной турбины, соединенной с реакторным блоком на стороне острого пара, т.е. входной пар поступал бы в эту турбину из главного парового коллектора (ГПК) реакторного блока (см. рис.4).

4. Уменьшение выработки электроэнергии и мощности отводом тепла

Первый чехословацкий проект отбора тепла на АЭС В-2 или В-1 невидоизменил тем, что установка уже реализуется или уже реализована, это значит, что отбор тепла возможен лишь

из соединительного трубопровода между ЦВД и ЦНД турбины и из коллектора собственных нужд. Это неблагоприятно показывается не только на заметном понижении выработки электроэнергии в цикле с противодавлением, но тоже высоким понижением электрической мощности $\frac{\Delta P}{Q} = 0,194$ при температуре воды 150/70°C. При новом решении поставки тепла в АЭС Моховце составляет понижение мощности $\frac{\Delta P}{Q} = 0,15$ при температуре воды 150/70°C. При решении отбора тепла без ограничений, которые появляются у существующих и тоже у проектируемых электростанций, возможно это понижение мощности далее уменьшить и то тем более, чем ниже температура воды (см. таб.1). Это обстоятельство тем более замечательно, что тепловые мощности поставляемые из атомных и классических электростанций будут возрастать до 500 и 1000 МВт и значительные потери электрической мощности надо будет компенсировать строительством дальнейших атомных электростанций.

Таблица 1. Понижение мощности АЭС вследствие отбора тепла

t_1/t_2	(°C)	100/50	120/60	150/70	180/70
$\frac{\Delta P}{Q}$	(-)	0,0887	0,117	0,156	0,137

5. Решение и пропускная способность теплофикационной магистрали

Экономически наиболее выгодным решением теплофикационных магистралей в ЧССР с точки зрения капиталовложений является прокладка трубопроводов на низких колонках непосредственно над землей (мин. 30 см от нижнего края тепловой изоляции до поверхности основания), которую в последнее время называем "наземная прокладка".

Целесообразность наземной прокладки тепловых линий являна на сопоставления цен для условий ЧССР: за одинаковые капиталовложения как для подземной (канальной) прокладки возможно наземной прокладкой осуществить транспорт тепловой мощности с 1500 до 3000 МВт, причем при подземной прокладке (в непролазких каналах) лишь 250 - 700 МВт.

Экономически является выгодным применять осевую компенсацию температурного расширения трубопровода не только с точки зрения экономии сельскохозяйственной земли (территории) и эстетики, но и с эксплуатационной точки зрения. Осевые компенсаторы представляют местные гидравлические сопротивления, которые образуют в зависимости от диаметра трубопровода с 2 до 7,5 % потерь давления в прямом трубопроводе, причем гнутые компенсаторы U-формы при одинаковых условиях представляют 19,4 - 70 %. При осевой компенсации одновременно экономится 10 - 13 % труб, экономится тепловая изоляция и понижаются потери тепла.

6. Заключение

В ЧССР рассчитываем с поставкой тепла из ядерных энергетических источников уже с 1987 г., когда ожидается открытие поставки тепла в горячей воде из Атомной электростанции Ясловске Вогуннице в город Трнава.

Уже сейчас разработаны предложения, студии и проекты для поставки тепла из дальнейших ядерных источников, находящихся в строительстве. Возможно констатировать, что поставка тепла из атомной электростанции в горячей воде технически решена.

Литература

1. Bouška, J.: Centralizované zásobovanie teplom a fosilných a jadrových KE na teplárenskú prevádzku
Zborník z XIII.konferencie energetikov
ČsVTS Bratislava, 1983
2. Šellej, J.: Efektívne spôsoby vyvedenia tepelného výkonu z JE
Ibid.;
3. Kadrnožka, J.: Spôsoby zlepšovania energetickej efektívnosti pri premenách energie pri výrobe, transporte a dodávke tepla
Ibid.;
4. Ursíny, J., Zaujec, M.: Perspektíva dodávky pre sústavy CZT z jadrových zdrojov na Slovensku
Zborník z konferencie "Využitie jadrových zdrojov na zásobovanie teplom"
ČsVTS Bratislava, 1981
5. Drahný, J.: Parní turbíny ŠKODA pro jaderné zdroje s dodávkou tepla
Ibid.;
6. Valášek, J.: K niektorým otázkam diaľkovej dopravy tepla z jadrových zdrojov
Ibid.;
7. Škvarka, P.: K oceneniu pohotovosti jadrového zdroja pre dodávku tepla
Ibid.;

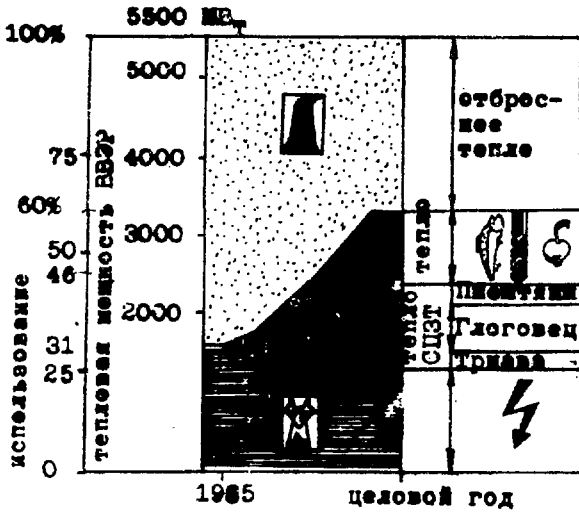


Рис. 1
Перспективное использование АЭС в Ясловских Богунитцах

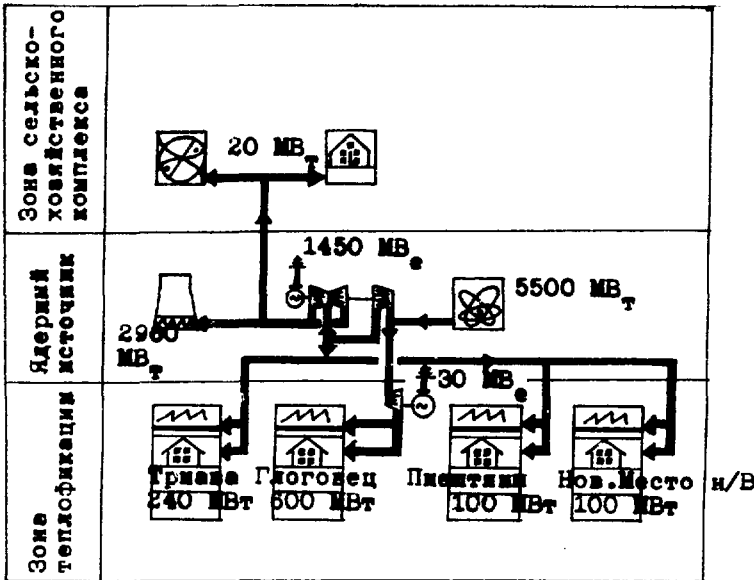


Рис. 2 Распределение тепла из АЭС В-1 и В-2

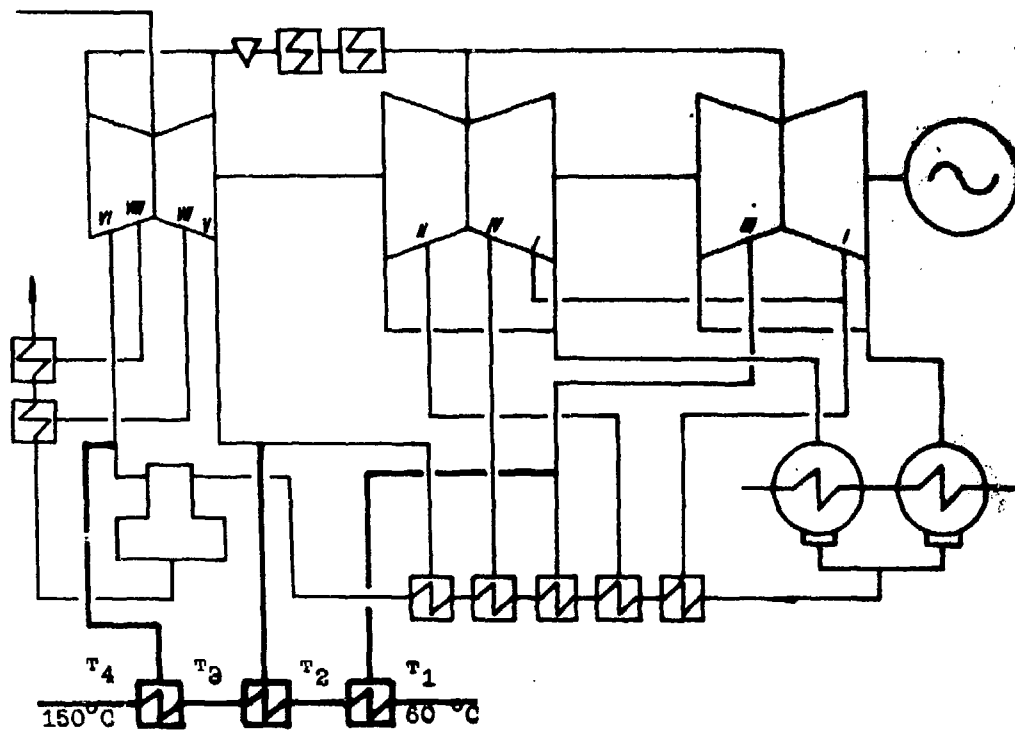


Рис. 3 Теплоснабжение из турбины для АЭС Моховце

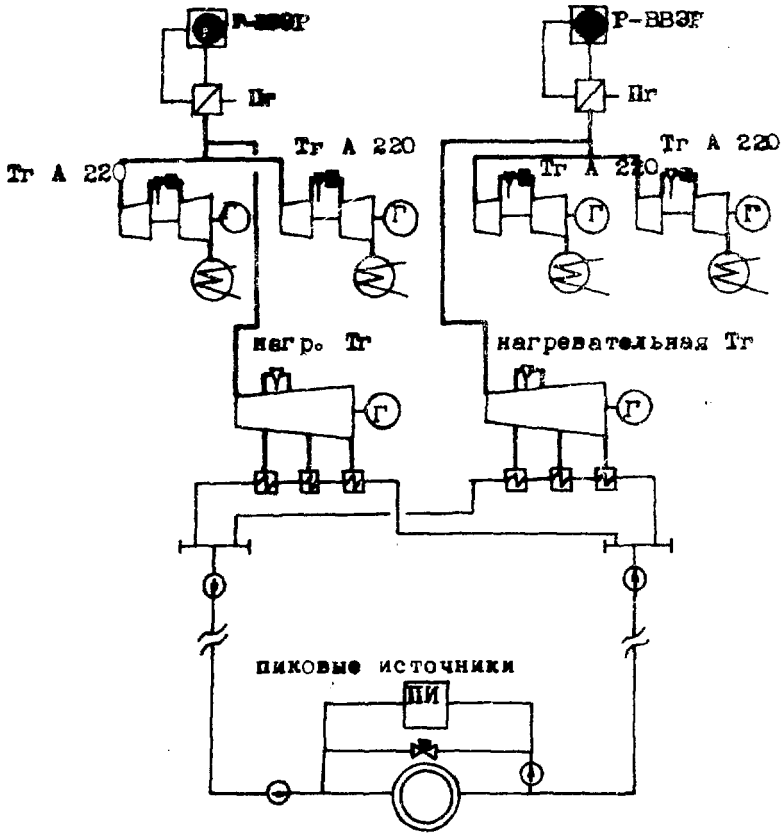


Рис. 4 Основная схема реакторных блоков нагревательных Тг и системы потребителей