

К вопросу об эффективности атомных станций теплоснабжения

АРСЕНЬЕВ Ю. Д., ВОРОНКОВ М. Е., СИНЕВ Н. М.

УДК 621.039.003

В современных условиях значительную экономию органического топлива можно получить, используя часть ядерного горючего не на АЭС, а на атомных котельных или так называемых атомных станциях теплоснабжения (АСТ).

Это объясняется тем, что благодаря отсутствию потерь тепла с уходящими газами тепловой к. п. д. АСТ $\eta_{АСТ}$ выше к. п. д. промышленных и районных котельных $\eta_{КОТ}$ (не говоря уже о квартальных и местных). К. п. д. работающих на насыщенном паре современных АЭС с реакторами на тепловых нейтронах $\eta_{АЭС}$ не превышает 31—32%, что значительно ниже к. п. д. современных конденсационных электростанций (КЭС) на органическом топливе (особенно на газе) $\eta_{КЭС}$, который составляет ~ 41%.

Рассмотрим два варианта энергосистемы, обеспечивающих равную выработку электрической и тепловой энергии. Первый вариант имеет АЭС, КЭС и котельные на газе (обозначим их мощности $N_{АЭС, I}$, $N_{КЭС, I}$, $Q_{КОТ, I}$ соответственно); второй вариант — АЭС, КЭС, котельные на газе и АСТ (их мощности $N_{АЭС, II}$, $N_{КЭС, II}$, $Q_{КОТ, II}$, $Q_{АСТ}$ соответственно). Расход ядерного горючего в вариантах одинаков. Обозначая годовое число часов использования максимальной мощности $\tau_{АЭС}$, $\tau_{КЭС}$, $\tau_{АСТ}$, $\tau_{КОТ}$, получаем:

$$\frac{\Delta N_{АЭС}}{\eta_{АЭС}} \tau_{АЭС} = \frac{Q_{АСТ} \tau_{АСТ}}{\eta_{АСТ}} \quad (\text{баланс ядерного горючего}); \quad (1)$$

$$(N_{КЭС, II} - N_{КЭС, I}) \tau_{КЭС} = \Delta N_{АЭС} \tau_{АЭС} \quad (\text{баланс электроэнергии}); \quad (2)$$

$$(Q_{КОТ, I} - Q_{КОТ, II}) \tau_{КОТ} = Q_{АСТ} \tau_{АСТ} \quad (\text{баланс тепловой энергии}), \quad (3)$$

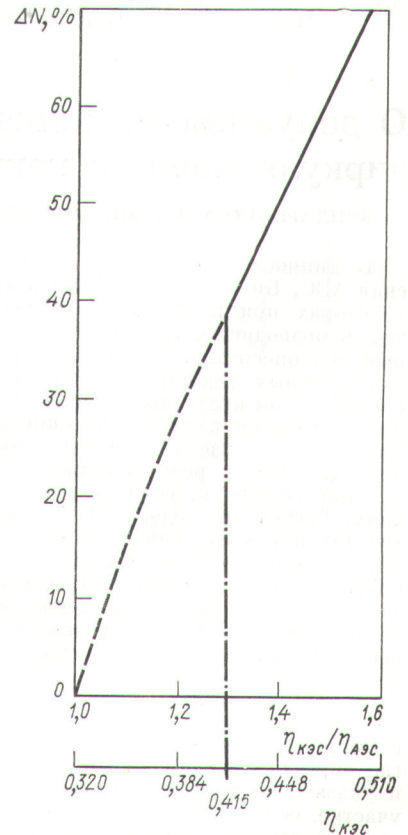
где $\Delta N_{АЭС} = N_{АЭС, I} - N_{АЭС, II}$.

Тепловая энергия топлива W_I и W_{II} по вариантам составит

$$W_I = W_{КЭС, I} + W_{КОТ, I} + W_{АЭС, I} = \frac{N_{КЭС, I} \tau_{КЭС}}{\eta_{КЭС}} + \frac{Q_{КОТ, I} \tau_{КОТ}}{\eta_{КОТ}} + \frac{N_{АЭС, I} \tau_{АЭС}}{\eta_{АЭС}};$$

$$W_{II} = W_{КЭС, II} + W_{КОТ, II} + W_{АЭС, II} + W_{АСТ} = \frac{N_{КЭС, II} \tau_{КЭС}}{\eta_{КЭС}} + \frac{Q_{КОТ, II} \tau_{КОТ}}{\eta_{КОТ}} + \frac{N_{АЭС, II} \tau_{АЭС}}{\eta_{АЭС}} + \frac{Q_{АСТ} \tau_{АСТ}}{\eta_{АСТ}}. \quad (4)$$

Годовая экономия тепловой энергии ΔW и расхода условного топлива ΔG , возникающая за счет замены



Зависимость дополнительной мощности КЭС на газе ΔN от отношения $\eta_{КЭС}/\eta_{АЭС}$ или от к. п. д. КЭС $\eta_{КЭС}$ (при $\eta_{АЭС} = 0,32$).

АЭС атомными котельными, определяется из уравнений (1)–(4):

$$\Delta W = W_I - W_{II} = 0,86 \cdot 10^{-3} \Delta N_{\text{АЭС}} \tau_{\text{АЭС}} \times \left(\frac{\eta_{\text{АСТ}}}{\eta_{\text{кот}} \eta_{\text{АЭС}}} - \frac{1}{\eta_{\text{КЭС}}} \right) \text{ Гкал/год}; \quad (5)$$

$$\Delta G = 0,123 \cdot 10^{-3} \Delta N_{\text{АЭС}} \tau_{\text{АЭС}} \left(\frac{\eta_{\text{АСТ}}}{\eta_{\text{кот}} \eta_{\text{АЭС}}} - \frac{1}{\eta_{\text{КЭС}}} \right) = G_{\text{АСТ}} \left(\frac{\eta_{\text{АСТ}}}{\eta_{\text{кот}}} - \frac{\eta_{\text{АЭС}}}{\eta_{\text{КЭС}}} \right) \text{ т усл. т./год}, \quad (6)$$

где $\Delta N_{\text{АЭС}}$ — электрическая мощность АЭС, заменяемых АСТ, *квт*; $G_{\text{АСТ}}$ — расход условного топлива, эквивалентный количеству ядерного горючего, потребляемого на АСТ, *т усл. т./год*.

Экономия условного топлива в год при $\eta_{\text{АСТ}} = 0,97$; $\eta_{\text{АЭС}} = 0,32$; $\eta_{\text{кот}} = 0,9$; $\eta_{\text{КЭС}} = 0,41$; $\tau_{\text{АЭС}} = 7000$ ч/год выразится: $\Delta G = 0,8 \Delta N_{\text{АЭС}} = 0,3 G_{\text{АСТ}}$ *т усл. т./год*.

Например, если $\Delta N_{\text{АЭС}} = 30$ млн. *квт*, годовая экономия органического топлива при замене АЭС на тепловых нейтронах атомными станциями теплоснабжения составит 24 млн. *т усл. т.* Дополнительная мощность КЭС, которая может быть введена на экономленном топливе, определяется уравнением

$$\Delta N = \frac{\Delta W \eta_{\text{КЭС}}}{\tau_{\text{КЭС}}} = \Delta N_{\text{АЭС}} \frac{\tau_{\text{АЭС}}}{\tau_{\text{КЭС}}} \left(\frac{\eta_{\text{КЭС}} \eta_{\text{АСТ}}}{\eta_{\text{АЭС}} \eta_{\text{кот}}} - 1 \right). \quad (7)$$

О допустимости кипения в опускных участках циркуляционного контура охлаждения реактора

БОНДАРЕНКО А. В., МИНАШИН М. Е.

УДК 621.039.53

В кипящих реакторах канального типа (Белоарская АЭС, Билибинская АТЭЦ) в кипящих корпусных реакторах при нормальных эксплуатационных режимах в подводящих трактах течет некипящий однофазный теплоноситель. Однако при некоторых пусковых и аварийных режимах трудно гарантировать отсутствие хотя бы кратковременного кипения воды в опускных трактах циркуляционного контура, тем более, если учесть, что на части опускных трактов имеется теплоподвод. Следует решить вопрос, допустимо ли такое кипение вообще и, если допустимо, при каких условиях. Требование недопустимости кипения в опускных трактах при всех режимах может значительно усложнить схемное решение станции. Ответ на поставленный вопрос наиболее важен для реакторов, охлаждаемых естественной циркуляцией теплоносителя и имеющих на опускных трактах П-образные участки, которые при неблагоприятных условиях могут способствовать накоплению пара на подводящих трактах и прекращению циркуляции.

Оценки возможности закипания на опускных участках в результате падения давления сделаны в работе [1], где определены условия закипания в таких режимах и указано на недопустимость закипания на опускном участке, если скорость теплоносителя на нем сравнима со скоростью подъема пара. Однако не учитывались

При $\tau_{\text{АЭС}} = \tau_{\text{КЭС}}$ и вышеприведенных значениях к. п. д. $\Delta N = 0,38 \Delta N_{\text{АЭС}} = 11,4$ млн. *квт*. Интересно отметить (см. рисунок), что при таком перераспределении использования ядерного горючего особенно важно повышение к. п. д. КЭС (например, за счет МГДГ). Следовательно, некоторая перестройка атомной энергетики может привести к существенной экономии органического топлива, намного большей, чем этого можно достичь улучшением термодинамического к. п. д. АЭС. Отметим также, что благодаря пониженным параметрам ($p < 60$ кг/см²; $t < 200^\circ \text{C}$) и сравнительно небольшой единичной мощности реактора АСТ могут иметь весьма высокую надежность и соответствовать условиям размещения их в городах.

Широкое внедрение типовых и стандартных АСТ, полностью автоматизированных и имеющих умеренные капиталовложения на единицу тепловой мощности реактора, позволит улучшить состояние воздушного бассейна городов. Вопрос о развитии атомной энергетики может решаться только на основе технико-экономического анализа возможных вариантов удовлетворения потребностей в электроэнергии и тепле с учетом структуры присоединенных электрических и тепловых нагрузок, резервирования мощностей и режима работы энергогенерирующих установок. Предварительный анализ перспективного топливно-энергетического баланса г. Москвы показал, что даже замена всех ТЭЦ на КЭС, удаленные от города, и АСТ при сохранении равной выработки электрической и тепловой энергии не приводит к перерасходу органического топлива.

Поступило в Редакцию 27/XI 1972 г.
В окончательной редакции 12/II 1973 г.

особенности, обусловленные наличием обогреваемых участков на опускных трактах.

В настоящей работе сделана попытка расчетным путем оценить возможные критерии допустимости кипения на обогреваемых участках опускных трактов, включающих в себя ниже обогреваемого участка достаточно протяженные необогреваемые участки. Закипание на опускном участке зависит от скорости изменения температуры воды на входе в него, скорости изменения давления, скорости воды, изменения обогрева, геометрии трактов.

Полное математическое описание процесса закипания в расчетной схеме (см. рисунок) связано с большими трудностями, поэтому для обогреваемого участка предлагается модель вскипания при переменной скорости воды на входе в участок постоянной длины, заполненный в начальный момент водой с температурой насыщения или пароводяной смесью с постоянным по длине паросодержанием, т. е. тепловая нагрузка действует с момента времени, равного нулю. Зависимостью параметров воды и пара от переменного по высоте давления можно пренебречь. Такая модель позволяет получать качественные оценки для случая, когда вскипание на опускном обогреваемом участке происходит в результате колебаний тепловой нагрузки при практически постоянном давлении (вернее, когда