

Метод оценки эффективности использования теплоты отработавшего в турбине пара для теплоснабжения

Рецензия эксперта на статью получена
18.09.2019 [Expert review on the article
received on September 18, 2019].

Введение

Настоящая статья посвящена вопросу оценки влияния отпуска теплоты из отбора паровой турбины для теплоснабжения потребителей на эффективность использования топлива. Известны различные критерии оценки влияния изменений в тепловой схеме паротурбинной установки на её экономичность, по которым с разной степенью точности может оцениваться эффективность теплофикации: коэффициент недовыработки, коэффициент ценности теплоты, коэффициент изменения мощности, КПД дополнительного отбора и др. Разнообразие критериев свидетельствует о серьёзности предмета исследования, с одной стороны, и наличии тех или иных недостатков в каждом из разработанных методов, с другой. Недостатками, например, наиболее известного метода, основанного на использовании коэффициента ценности теплоты, являются его относительная сложность, недостаточная точность, вызванная принятыми в основе метода допущениями, и методическая ошибка вычисления коэффициента для отборов турбины, расположенных выше промперегрева.

Повышение экономичности энергоустановки при отпуске тепловой энергии потребителям из отбора турбины вместо отпуска его из котельной является очевидным фактом, не вызывающим сомнений [1–7]. Однако получаемая экономия оценивается с разной степенью точности. Поэтому произведён обзор методов оценки изменений в тепловой схеме паротурбинной установки источника теплоснабжения. Выполнен обзор методов оценки

изменений в тепловой схеме паротурбинной установки, на основании принятого метода оценки эффективности использования теплоты отработавшего в турбине пара для теплоснабжения разработан коэффициент относительной эффективности использования теплоты пара любого отбора турбины, означающий экономию подведённой к турбине энергии в долях отпускаемой потребителю теплоты.

Известны различные критерии оценки влияния изменений в тепловой схеме паротурбинной установки на её экономичность, по которым с разной степенью точности может оцениваться эффективность теплофикации

Обзор методов оценки изменений в тепловой схеме паротурбинной установки

Ещё В.И. Гриневецким [9] в уравнении материального баланса турбины с отбором пара $D_T = D_K + yD_{отб}$ применялся так называемый «коэффициент отбора» или «коэффициент недовыработки»:

$$y = \frac{i_{отб} - i_K}{i_0 - i_K},$$

где D_T — расход пара на турбину при работе с отбором; D_K — расход пара на турбину при чисто конденсационном режиме; $D_{отб}$ — расход отбираемого пара; i_0 , $i_{отб}$ и i_K — энтальпия пара, соответственно, перед турбиной, в отборе и перед конденсатором.

УДК 658.26. Научная специальность: 05.23.03.

Метод оценки эффективности использования теплоты отработавшего в турбине пара для теплоснабжения

В.А. Буланин, к.т.н., генеральный директор ООО «Инновационные технологии — Энергетика» («ИТ-Энергетика», г. Белгород)

Дана оценка влияния отпуска теплоты из отбора паровой турбины для теплоснабжения потребителей на эффективность использования топлива. Произведён анализ критериев оценки изменений в тепловой схеме паротурбинной установки на её экономичность, по которым с разной степенью точности может оцениваться эффективность теплофикации. Определены недостатки, например, наиболее известного метода, основанного на использовании коэффициента ценности теплоты: относительная сложность, недостаточная точность, вызванная принятыми в основе метода допущениями, и методическая ошибка вычисления коэффициента для отборов паровой турбины, расположенных выше промперегрева. Разработан метод оценки изменений в тепловой схеме паротурбинной установки с использованием коэффициентов относительной эффективности теплоты отборов турбин. Разработанный коэффициент относительной эффективности использования теплоты пара любого отбора турбины (означающий экономию подведённой к турбине энергии в долях отпускаемой потребителю теплоты) является только функцией теплоперепадов в соответствующих отсеках турбины и не зависит от КПД турбины, в отличие от известных более сложных и менее точных методов оценки ценности теплоты.

Ключевые слова: учёт энергии, расход топлива, теплота сгорания, теплоснабжение, энергетический баланс, источник теплоснабжения.

UDC 658.26. The number of scientific specialty: 05.23.03.

The method of estimation of efficiency of use of heat in the turbine exhaust steam for heating

V.A. Bulanin, PhD, CEO of "Innovative technologies — Energy", LLC (Belgorod city)

The influence of heat release from the selection of a steam turbine for heating consumers on fuel efficiency is estimated. The analysis of criteria for evaluating changes in the thermal scheme of a steam turbine installation for its efficiency, which can be used to evaluate the efficiency of heating with different degrees of accuracy, is carried out. The disadvantages of, for example, the most well-known method based on the use of the heat value coefficient are determined: relative complexity, insufficient accuracy caused by the assumptions adopted in the basis of the method, and a methodological error in calculating the coefficient for steam turbine selections located above the industrial superheat. A method for estimating changes in the thermal scheme of a steam turbine installation using the coefficients of the relative efficiency of the heat of the turbine selections is developed. The developed coefficient of relative efficiency of use of heat of steam of any selection of the turbine (meaning economy of the energy brought to the turbine in shares of heat released to the consumer) is only function of heat transitions in the corresponding compartments of the turbine and does not depend on efficiency of the turbine unlike known more difficult and less exact methods of an estimation of value of heat.

Key words: energy accounting, fuel consumption, heat of combustion, heat supply, energy balance, heat supply source.

Однако коэффициенту η присущ ряд следующих недостатков: он не учитывает влияния регенеративного подогрева воды на экономичность турбины; не учитывает дополнительный эффект от подогрева воды, возвращаемой от потребителя, и добавки воды, восполняющей потери в схеме регенерации турбины; не учитывает влияние промежуточного перегрева пара и др.

Коэффициент недовыработки широко использовался в практических целях [7] более чем 40 лет. В последние годы в проектной и эксплуатационной практике этот коэффициент уже практически не применяется, но, несмотря на это, он продолжает находить место в учебниках для вузов без указания на его недостатки [2, 13].

В 1929 году [13] была предложена приближенная эмпирическая формула «коэффициента ценности теплоты»:

$$\xi = (1 - \lambda)(1 + k\lambda),$$

где $\lambda = (i_o - i_{отб})/(i_o - i_k)$ — отношение теплопадения, использованного паром данного отбора, к полному использованному (внутреннему) теплопадению турбины; k — эмпирический коэффициент, зависящий от начальных параметров рассматриваемой установки и особенностей её схемы. Точность вычисления значения ξ при соответственно подобранных значениях коэффициента k оказалась достаточной для прикидочных расчётов схем турбоустановок без промежуточного перегрева пара.

Для более точных расчётов приходилось в каждом конкретном случае находить значение ξ «эмпирически», то есть, в соответствии с определением этого коэффициента, для каждой тепловой схемы путём составления «дополнительных тепловых балансов» подсчитывать то изменение полного расхода теплоты на установку, которое является следствием подвода определённого количества теплоты на данной ступени регенерации [11].

Широкое применение имело и другое выражение коэффициента ценности теплоты, а именно:

$$\xi = \frac{i_{отб} - i_k}{i_o - i_k} \frac{i_o - \bar{i}_{отб}}{i - \bar{i}_k^{отб}}, \quad (1)$$

где $\bar{i}_{пв}$ и $\bar{i}_k^{отб}$ — энтальпии, соответственно, питательной воды и конденсата отбираемого пара; $(i_o - \bar{i}_{отб})/(i_o - i_k)$ — относительный прирост расхода теплоты на вырабатываемую энергию конденсационной турбины без регенерации.

Для того чтобы выражение (1) можно было распространить на турбоустановки с регенеративным подогревом воды и промежуточным перегревом пара, в нём необходимо произвести замену множителя:

$$\Delta q = \frac{i_o - \bar{i}_{отб}}{i_o - i_n} \text{ на } \Delta q = \frac{i_o - \bar{i}_{отб} + \alpha_{пп} \Delta i_{пп}}{(i_o - \bar{i}_{отб} + \alpha_{пп} \Delta i_{пп}) - \alpha_k (i_k - \bar{i}_k)},$$

где $\alpha_{пп}$ и α_k — доля пара, поступающего, соответственно, в промперегреватель и конденсатор; $\Delta i_{пп}$ — приращение энтальпии пара в промперегревателе.

Если отбор пара производится до промежуточного перегрева пара, то к числителю $(i_{отб} - i_k)$ в выражении (1) нужно прибавить приращение энтальпии $\Delta i'_{пп}$.

В результате таких подстановок выражение (1) для общего случая преобразуется в выражение:

$$\xi = \frac{i_o - \bar{i}_{отб} + \alpha_{пп} \Delta i_{пп}}{(i_o - \bar{i}_{отб} + \alpha_{пп} \Delta i_{пп}) - \alpha_k (i_k - \bar{i}_k)} \frac{i_{отб} - i_k + \Delta i'_{пп}}{i_{отб} - \bar{i}_k}. \quad (2)$$

Как видно из изложенного выше, определение значения по выражению (2) весьма трудоёмко и требует большого объёма исходной информации.

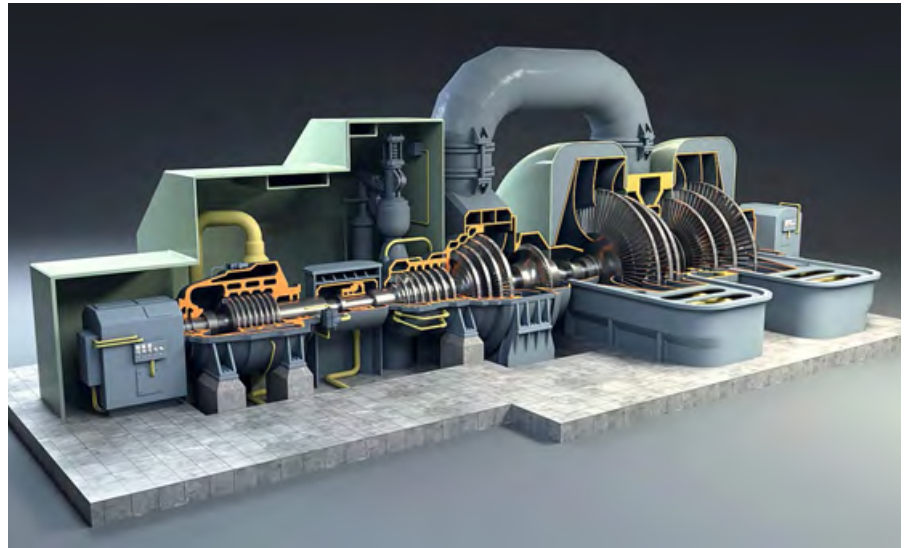
Очевидно, поэтому Я.М. Рубинштейн и М.И. Щепетильников не стали усложнять формулу (1), а пошли по пути разработки аналитического метода определения коэффициента ценности теплоты ξ [12], согласно которому предварительно находят коэффициент изменения мощности ϵ . При разработке этого метода была сделана предпосылка (допущение), что при небольшом значении количества теплоты, подводимой извне к той или иной ступени подогрева питательной воды ($Q \ll Q_0$), изменение экономичности установки не должно зависеть от способа определения, то есть относительное уменьшение общего расхода теплоты ΔQ_0 в первом случае и относительный прирост мощности ΔN во втором должны быть одинаковы:

$$\frac{\Delta Q_0}{Q_0} = -\frac{\Delta N}{N}, \text{ отсюда } \frac{\Delta N}{\Delta Q_0} = \frac{N}{Q_0} = \eta, \quad (3)$$

где η — внутренний (абсолютный) КПД установки.

Расчёты сравнительной эффективности обычно проводятся при выборе способа удовлетворения одной и той же потребности, то есть сравниваемые варианты должны приводиться к одинаковому эффекту, в энергетике — к одинаковому количеству теплоты и электроэнергии, отпускаемых потребителю [14]. Если рассматривать условие (3) с этой позиции, то оно действительно для случая отпуска только электроэнергии, а для сравнения вариантов удовлетворения потребителя одновременно теплотой и электроэнергией оно неприемлемо.

На самом деле при отпуске потребителю теплоты, например, паром, поступающим в конденсатор (вместо отпу-



ска теплоты из котельной), имеет место большая экономия теплоты ΔQ_0 при неизменной мощности установки, то есть $\Delta N = 0$, а отношение $\Delta N/\Delta Q_0 = 0 \neq \eta$. Поэтому коэффициент ценности теплоты ξ , вычисленный по методу [10], применим лишь в случае, когда речь идёт только о структурных изменениях рассматриваемой схемы, при которых отсутствует подвод (или отвод) теплоты извне.

Для анализа и оптимизации тепловой схемы предназначен метод эквивалентных теплопадения и вытекающий из него коэффициент полезного действия отбора турбины [10]: «...метод предполагает, что расчёт исходной тепловой схемы вы-

полнен заранее». Для сравнения эффективности вариантов раздельной и комбинированной выработки теплоты и электрической энергии этот метод также неприменим, поскольку КПД отборов турбины вычисляется при постоянном расходе теплоты на неё и не приводится к условию постоянного производственного эффекта (одинаковое количество отпускаемых в сравниваемых вариантах теплоты и электроэнергии). Таким образом, вышеперечисленные методы оказались применимыми только для анализа небольших структурных изменений в пределах конденсационной паротурбинной установки и неприемлемыми для оценки эффективности теплофикации.

Для приближенной оценки эффективности теплофикации в [6] дано выражение коэффициента ценности теплоты:

$$\xi = 1 - \Delta Q, \quad (4)$$

где $\Delta Q = (b_k - b_t)\omega = \Delta b\omega$ — снижение затрат (экономия теплоты в турбоагрегате на единицу отпущенной теплоты); b_k и b_t — удельные расходы теплоты, соответственно, на конденсационный и теплофикационный 1 кВт·ч вырабатываемой электроэнергии; Δq — удельные потери теплоты в конденсаторе турбины; ω — удельная теплофикационная выработка электроэнергии на единицу отпущенной за пределы турбоустановки теплоты.

В работе [8], посвящённой оптимизации режимов работы ТЭЦ, удельная экономия расхода теплоты за счёт комбинированного производства энергии на каждую единицу теплоты, отпускаемой из отбора турбины, представлена в виде комплекса $m_t \Delta q_k$, который по своему физическому смыслу идентичен величине $\Delta Q = \omega \Delta b$ из выражения (4), поскольку m_t — относительный прирост теплофикационной мощности при увеличении тепловой нагрузки, а Δq_k — относительный прирост потерь теплоты в конденсаторе (при замещении теплофикационной мощности конденсационной).

Расчёты сравнительной эффективности обычно проводятся при выборе способа удовлетворения одной и той же потребности, то есть сравниваемые варианты должны приводиться к одинаковому эффекту



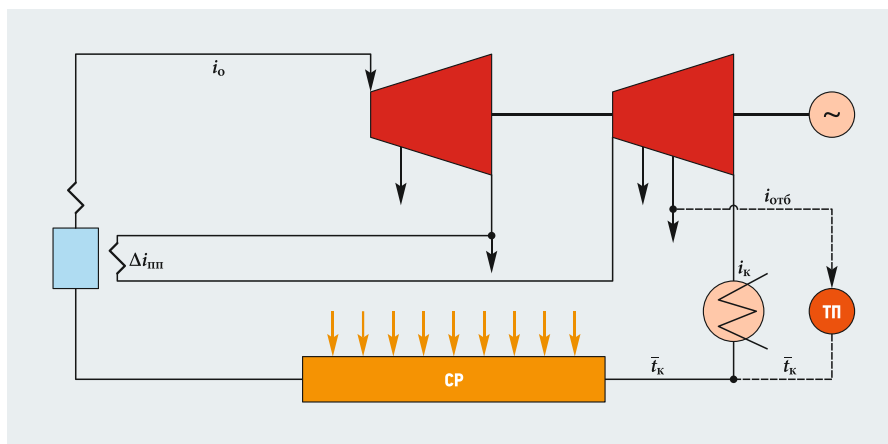


Рис. 1. Тепловая схема энергоблока (CP — система регенеративного подогрева питательной воды, ТП — тепловой потребитель; i_o , $i_{отб}$ и i_k — энтальпия пара соответственно перед турбиной, в отборе и на входе в конденсатор; $\Delta i_{пп}$ — приращение энтальпии пара в промежуточном пароперегревателе; $\bar{t}_k$ — энтальпия конденсата, поступающего из конденсатора и от потребителя теплоты)

Однако в упомянутых работах нет вывода аналитических выражений экономии теплоты, получаемой при теплофикации на паротурбинных ТЭЦ, которые основывались бы на параметрах турбинной установки и соответствовали бы физической сущности протекающих в ней процессов. Такое выражение представлено в [15], однако и оно рекомендуется только для предварительной оценки эффективности теплофикации, поскольку включает в себя энтальпию пара в «условном регенеративном отборе» и имеет ряд других условностей. Разновидности перечисленных методов оценки эффективности теплофикации с присущими им недостатками встречаются и у других авторов [1,3].

Метод оценки эффективности использования теплоты отработавшего в турбине пара для теплоснабжения

Разработанный автором метод [4,5] позволяет быстро и с достаточной точностью производить анализ энергобаланса турбоустановки: он учитывает как первичные, так и вторичные изменения в режиме её работы. Если при неизменном расходе подведённой энергии на турбину (рис.1) отпустить из её отбора тепловому потребителю (ТП) 1 кг пара, а конденсат возвратить в конденсатор турбины, то произойдёт уменьшение выработки электроэнергии на $(i_{отб} - i_k + \Delta i'_{пп})$ и сокращение затрат теплоты на выработку электроэнергии на $(i_{отб} - \bar{t}_k + \Delta i'_{пп})$.

Потребитель, получая тепловую энергию от турбины $Q_{тэ} = i_{отб} - \bar{t}_k + \Delta i'_{пп}$, отказывается от получения такого же количества энергии от котельной. Сокращение потерь энергии в окружающую среду через конденсатор с охлаждающей водой составляет $(i_k - \bar{t}_k)$. Для восстановления выработки электроэнергии до исходного уровня увеличим расход подведённой энергии на турбоустановку на

$$\Delta Q = (i_{отб} - i_k + \Delta i'_{пп})/\eta.$$

Снижение расхода энергии на производство тепловой энергии составит:

$$Q = Q_{тэ} - \Delta Q = (i_{отб} - \bar{t}_k + \Delta i'_{пп}) - \frac{i_{отб} - i_k + \Delta i'_{пп}}{\eta},$$

где $i_{отб}$ — энтальпия отбираемого пара; i_k и $\bar{t}_k$ — энтальпия, соответственно, пара и конденсата в конденсаторе; $\Delta i'_{пп}$ — приращение энтальпии пара в промперегревателе (величина со знаком «+» учитывается только при отборе пара потребителю до промперегрева); η — КПД паротурбинной установки.

Разделив полученное выражение на количество отпущенной тепловой энергии $Q_{тэ} = i_{отб} - \bar{t}_k + \Delta i'_{пп}$, найдём удельную экономию подведённой энергии в долях отпущенной теплоты, которая по физическому смыслу является коэффициентом относительной эффективности использования теплоты отбора турбины:

$$K'_{о.эф} = 1 - \frac{\Delta Q}{Q_{тэ}} = 1 - \frac{i_{отб} - i_k + \Delta i'_{пп}}{(i_{отб} - \bar{t}_k + \Delta i'_{пп})\eta}.$$

Коэффициент $K'_{о.эф}$ — это экономия подведённой энергии (в долях отпускаемой теплоты), получаемая при комбинированной выработке теплоты и электроэнергии за счёт сокращения потерь энергии через конденсатор с охлаждающей водой. Разность $(1 - K'_{о.эф})$ — это дополнительный расход энергии на турбоагрегат в долях отпускаемой теплоты:

$$1 - K'_{о.эф} = \frac{\Delta Q}{Q_{тэ}} = \frac{i_{отб} - i_k + \Delta i'_{пп}}{i_{отб} - \bar{t}_k + \Delta i'_{пп}}.$$

При $i_{отб} = i_k$ обычно имеем $K'_{о.эф} = 0,1-0,12$ и $1 - K'_{о.эф} = 0,88-0,9$.

Как было обусловлено выше, конденсат от потребителя с температурой $\bar{t}_k$ возвращается в конденсатор турбины.

Следовательно, значение $K'_{о.эф}$ учитывает регенеративный подогрев конденсата от температуры $\bar{t}_k$ до температуры насыщения $t_{отб}$, соответствующей давлению пара в отборе, из которого от-

пускается пар потребителю. Однако на практике конденсат, как правило, возвращается от потребителя, например, из сетевого подогревателя, с температурой насыщения $t_{отб}$. Поэтому теплота отбора турбины будет использоваться для теплофикации с меньшей эффективностью: $K_{о.эф} < K'_{о.эф}$. Если конденсат возвращается от потребителя в точку отбора пара, то для условия $i_{отб} = i_o$, очевидно, $1 - K_{о.эф} = 1$ или $K_{о.эф} = 0$.

Найдём множитель M , учитывающий влияние изменения точки возврата конденсата от потребителя (для отбора с энтальпией $i_{отб} = i_o$):

$$M = \frac{1 - K_{о.эф}}{1 - K'_{о.эф}} = \frac{1}{1 - K'_{о.эф}} = \frac{(i_{отб} - \bar{t}_k + \Delta i'_{пп})\eta}{i_{отб} - i_k + \Delta i'_{пп}}.$$

Для любого отбора получим:

$$1 - K_{о.эф} = M(1 - K'_{о.эф}) = \frac{(i_{отб} - \bar{t}_k + \Delta i'_{пп})\eta}{i_{отб} - i_k + \Delta i'_{пп}} = \frac{i_{отб} - i_k + \Delta i'_{пп}}{(i_{отб} - \bar{t}_k + \Delta i'_{пп})\eta}.$$

Сокращая числитель и знаменатель на величину η , получим:

$$1 - K_{о.эф} = \frac{i_o - \bar{t}_k + \Delta i'_{пп}}{i_{отб} - \bar{t}_k + \Delta i'_{пп}} \frac{i_{отб} - i_k + \Delta i'_{пп}}{i_o - i_k + \Delta i'_{пп}}.$$

Приводя полученное выражение к общему знаменателю, выведем в общем виде формулу коэффициента относительной эффективности теплоты отбора турбины для теплофикации:

$$K_{о.эф} = \frac{i_k - \bar{t}_k}{i_o - i_k + \Delta i'_{пп}} \frac{i_o - \bar{t}_{отб} + \Delta i'_{пп} - \Delta i'_{пп}}{i_o - \bar{t}_k + \Delta i'_{пп}}.$$

В конкретных случаях применения этой зависимости она приобретает более простой вид:

□ отбор пара до промперегрева

$$K_{о.эф} = \frac{i_k - \bar{t}_k}{i_o - i_k + \Delta i'_{пп}} \frac{i_o - \bar{t}_{отб}}{i_{отб} - \bar{t}_k + \Delta i'_{пп}};$$

□ отбор пара после промперегрева

$$K_{о.эф} = \frac{i_k - \bar{t}_k}{i_o - i_k + \Delta i'_{пп}} \frac{i_o - \bar{t}_{отб} + \Delta i'_{пп}}{i_{отб} - \bar{t}_k};$$

□ турбина без промперегрева

$$K_{о.эф} = \frac{i_k - \bar{t}_k}{i_o - i_k} \frac{i_k - \bar{t}_{отб}}{i_{отб} - \bar{t}_k}.$$

Вычисление коэффициентов относительной эффективности теплоты отборов турбин по разработанной автором методике не представляет затруднений. Значения коэффициента $K_{о.эф}$ для распространённых типов турбин приведены в табл. 1 и на рис. 2.

Примечание: следует учесть, что конденсат отбираемого пара от потребителей возвращается в схему регенерации с температурой, соответствующей температуре пара в точке отбора.

С достаточной для технических расчётов точностью этот коэффициент может также приниматься по его графической зависимости от известного коэффициента недовыработки $K_{0.эф} = f(y)$ (рис. 3). Для оценки полученных результатов на рис. 3 также показана зависимость коэффициента ценности теплоты $\xi = f(y)$ [12], полученной по более сложной и менее точной методике, в частности, неправильно учитывающей приращение энтальпии пара в промежуточном пароперегревателе [неправомерное смещение кривой $\xi = f(y)$ выше точки промежуточного перегрева].

Коэффициент относительной эффективности использования теплоты любого отбора турбины для теплоснабжения, означающий экономию подведённой к турбине энергии в долях отпускаемой потребителю теплоты, не зависит от КПД турбины и доли пара на регенерацию, а является только функцией теплоперепадов в соответствующих отсеках турбины.

Выводы

С точки зрения экономии топлива может быть целесообразной организация промежуточного перегрева пара после про-

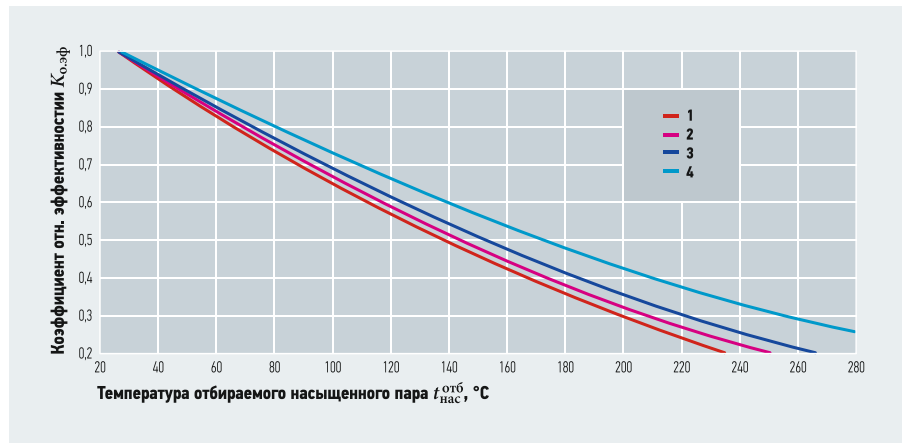


Рис. 2. Зависимость коэффициента относительной эффективности теплоты отборов от параметров пара турбин [1 — 12,7 МПа, 540/540 °С; 2 — 8,8 МПа, 535 °С; 3 — 12,7 МПа, 535 °С и 23,5 МПа, 540/540 °С; 4 — 23,5 МПа, 540 °С (условная турбина без промперегрева)]

мышленного отбора. Эффективность теплоты отбора при этом не уменьшится, а, наоборот, несколько увеличится за счёт снижения относительного прироста расхода теплоты на выработку электроэнергии или в крайнем случае останется неизменной, то есть $\delta K_{0.эф} = 0$.

Разработанный коэффициент относительной эффективности использования теплоты пара любого отбора турбины (означающий экономию подведённой к турбине энергии в долях отпускаемой потребителю теплоты) является только

функцией теплоперепадов в соответствующих отсеках турбины и не зависит от коэффициента полезного действия турбины, в отличие от известных более сложных и менее точных методов оценки ценности теплоты.

На основе данного коэффициента разработаны методы расчёта экономии топлива, получаемой при переходе от раздельного к комбинированному способу производства электрической и тепловой энергии и рационализации тепловых схем тепловых электростанций. ●

Значения коэффициента относительной эффективности теплоты отборов*

табл. 1

Номер отбора	Коэффициент относительной эффективности теплоты отборов турбин				
	К-100-90	Т-100-130	К-160-130	К-200-130	К-300-240
1	0,150	0,216	(0,145)	0,125	0,114
2	0,220	0,272	0,178	0,169	0,150
3	0,303	0,371	0,256	0,265	0,262
4	0,467	0,474	0,331	0,368	0,321
5	0,550	0,544	0,403	0,491	0,424
6	0,670	0,606	0,562	0,594	0,530
7	0,750	0,735	0,653	0,781	0,666
8	0,856	—	0,745	—	0,851
К	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

* Для распространённых типов турбин.

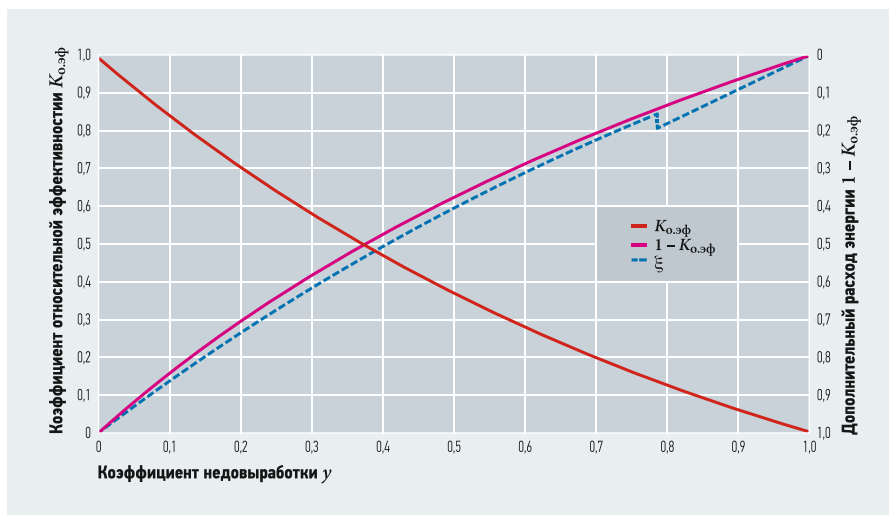


Рис. 3. Коэффициент относительной эффективности использования теплоты любого отбора турбины для теплоснабжения

- Баринберг Г.Д., Бененсон Е.И. Влияние параметров свежего пара, промежуточного перегрева и единичной мощности на экономичность теплофикационных турбин / В сб.: Опыт создания турбин и дизелей. — Свердловск: Средне-Уральское книжное изд-во, 1969. С. 97–102.
- Белинский С.Я., Липов Ю.М. Энергетические установки электростанций: Учебник для вузов. — М.: Энергия, 1974. 304 с.
- Бененсон Е.И., Иоффе Л.С. Теплофикационные паровые турбины. — М.: Энергия, 1976. 264 с.
- Буланин В.А. Алгоритм оценки влияния отбора тепла от турбоагрегата на его экономичность / В сб.: НТК по электроавтоматизации и автоматическому управлению и регулированию производственных процессов: Тезисы докладов. — Ташкент, 1975.
- Буланин В.А., Родимкин Е.Д. Метод анализа энергобаланса паротурбинной установки // Электрические станции, 1978. №11. С. 27–31.
- Горшков А.С. Техничко-экономические показатели тепловых электростанций. — М.: Энергоатомиздат, 1984. 240 с.
- Комаров А.М., Лукницкий В.В. Карманный справочник теплотехника электростанций. — М.-Л.: ГОНТИ; Ред. энергетической лит-ры, 1939. 208 с.
- Гриневский В.И. Паровые машины. Теория рабочего процесса / Под ред. П.М. Соловьёва. Изд. 2-е. — М.: Гостехиздат, 1926. 214 с.
- Прузнер С.Л. Экономика энергетики СССР / С.Л. Прузнер, А.Н. Златопольский, А.М. Некрасов. — М.: Высшая школа, 1979. 471 с.
- Рыжкин В.Я., Кузнецов А.М. Анализ тепловых схем мощных конденсационных блоков. — М.: Энергия, 1972. 272 с.
- Рубинштейн Я.М., Щепетильников М.И. Исследование реальных тепловых схем ТЭС и АЭС. — М.: Энергоиздат, 1982. 272 с.
- Рыжкин В.Я. Тепловые электрические станции: Учебник для вузов. — М.: Энергия, 1976. 448 с.
- Рубинштейн Я.М. Исследование регенеративного процесса в паротурбинных установках. Ч. I, II. — М.: Известия ВТИ, 1929. №1. С. 26–46; 1929. №9. С. 3–38.
- Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети. — М.: Энергия, 1978. 376 с.

References — see page 63.

The method of estimation of efficiency of use of heat in the turbine exhaust steam for heating. Pp. 30–34.

Vladimir A. Bulanin, PhD, CEO of “Innovative technologies — Energy”, LLC (Belgorod city)

1. G.D. Barinberg, E.I. Benenson. *Vlijanie parametrov svezhego para, promezhutochnogo peregreva i edinichnoj moshhnosti na jekonomichnost' teplofikacionnyh turbin* [The influence of the parameters of fresh steam, intermediate overheating and unit power on the efficiency of cogeneration turbines]. V sb.: Opyt sozdaniya turbin i dizelej [In the coll.: Experience in creating turbines and diesel engines]. Sverdlovsk. *Sredne-Ural'skoe knizhnoe izd-vo* [Middle Ural Book Publishing House]. 1969. Pp. 97–102. [In Russian]
2. S.Ja. Belinskij, Ju.M. Lipov. *Jenergeticheskie ustanovki jelektrostancij: Uchebnik dlja vuzov* [Electric power devices of electric power plants: A textbook for universities]. Moscow. *Jenergija* [“Energy” Publishers]. 1974. 304 p. [In Russian]
3. E.I. Benenson, L.S. Ioffe. *Teplofikacionnye parovye turbiny* [Heating steam turbines]. Moscow. *Jenergija* [“Energy” Publishers]. 1976. 264 p. [In Russian]
4. V.A. Bulanin. *Algoritm ocenki vlijaniya otbora tepla ot turboagregata na ego jekonomichnost'* [Algorithm for assessing the influence of heat removal from a turbine unit on its efficiency]. *Respubl. NTK po elektroavtomatizacii i avtomaticheskomu upravleniju i regulirovaniju proizvodstvennyh processov: Tezisy dokladov* [Republican Scientific and Technical Conference on Electric Automation and Automatic Control and Regulation of Production Processes: Abstracts]. Tashkent. 1975. [In Russian]
5. V.A. Bulanin, E.D. Rodimkin. *Metod analiza jenergoibalansa paroturbinnnoj ustanovki* [Method for analyzing the energy balance of a steam turbine plant]. *Jelektricheskie stancii* [“Electric power stations” Magazine]. 1978. No. 11. Pp. 27–31. [In Russian]
6. A.S. Gorshkov. *Tekhniko-jekonomicheskie pokazateli teplovyyh jelektrostancij* [Technical and economic indicators of thermal power plants]. Moscow. *Jenergoatomizdat* [Publishing House of Energy and Nuclear Industry of the USSR (‘‘Energoatomizdat’’ Publishers)]. 1984. 240 p. [In Russian]
7. A.M. Komarov, V.V. Luknickij. *Karmannyj spravocnik teplotekhnika jelektrostancij* [Pocket reference heat engineering power plants]. Moscow-Leningrad. GONTI; Red. jenergeticheskoy lit-ry [State United Scientific and Technical Publishing House of the People’s Commissariat of Heavy Industry of the USSR (‘‘GONTI’’ Publishers); ‘‘The editorial office of the energy industry of the USSR’’ Publishers]. 1939. 208 p. [In Russian]
8. V.I. Grineveckij. *Parovye mashiny. Teorija rabochego processa* [Steam engines. Theory of workflow]. Edited by P.M. Solovov. 2th edition. Moscow. *Gostekhizdat* [State Publishing House of Technical and Theoretical Literature of the USSR (‘‘Gostekhizdat’’ Publishers)]. 1926. 214 p. [In Russian]
9. S.L. Pruzner, A.N. Zlatopol'skij, A.M. Nekrasov. *Jekonomika jenergetiki SSSR* [An economics of the energy industry of the USSR]. Moscow. *Vysshaja shkola* [‘‘Higher education’’ Publishing House]. 1979. 471 p. [In Russian]
10. V.Ja. Ryzhkin, A.M. Kuznecov. *Analiz teplovyyh shem moshhnyh kondensacionnyh blokov* [Analysis of thermal circuits of powerful condensing units]. Moscow. *Jenergija* [‘‘Energy’’ Publishers]. 1972. 272 p. [In Russian]
11. Ja.M. Rubinshtejn, M.I. Shhepetil'nikov. *Issledovanie real'nyh teplovyyh shem TJeS i AJeS* [The study of real thermal schemes of thermal power plants and nuclear power plants]. Moscow. *Jenergoizdat* [Publishing House of Energy Industry of the USSR (‘‘Energoizdat’’ Publishers)]. 1982. 272 p. [In Russian]
12. V.Ja. Ryzhkin. *Teplovyje jelektricheskie stancii: Uchebnik dlja vuzov* [Thermal power plants: A textbook for universities]. Moscow. *Jenergija* [‘‘Energy’’ Publishers]. 1976. 448 p. [In Russian]
13. Ja.M. Rubinshtejn. *Issledovanie regenerativnogo processa v paroturbinnnyh ustanovkakh* [The study of the regenerative process in steam turbine plants]. Part I, II. Moscow. *Izvestija VTI* [Bulletin of the All-Russian Thermotechnical Institute]. 1929. No. 1. Pp. 26–46; 1929. No. 9. Pp. 3–38. [In Russian]
14. E.Ja. Sokolov. *Teplofikacija i teplovyje seti* [Heating and heating networks]. Moscow. *Jenergija* [‘‘Energy’’ Publishers]. 1978. 376 p. [In Russian]