

Methods of Assessing the Efficiency of Cogeneration of Electricity and Heat Postolaty V.M.

Institute of Power Engineering of the Academy of Sciences of Moldova
Chisinau, Republic of Moldova

Abstract: A method that allows calculating the primary energy savings of fuel cogeneration of electricity and heat as compared to separate methods produce the same amount of these types of energy. An analytic expression relating the energy consumption of fuel for production of electricity and heat, taking into account efficiency with the technologies of production of electricity and heat separately, and the total efficiency when these types of energy cogeneration. The results are illustrated by the example. Based on these results it is recommended to amend the Law on thermal energy and cogeneration of electricity and heat in methodologies for calculating performance of these types of energy cogeneration.

Keywords: cogeneration of electricity and heat, total efficiency, cogeneration efficiency assessment methodology.

Metodologia de estimare a eficienței cogenerării energiei electrice și termice Postolati V.

Institutul de Energetică al Academiei de Științe a Moldovei
Chișinău, Republica Moldova

Rezumat. Metodica elaborată permite efectuarea calculelor privind cota de economisire a resurselor energetice primare (în unități ale energiei privind consumul de la producerea energiei electrice și termice prin cogenerare în comparație cu tehnologia de producere separată a aceleași volume de energie electrică și termică. S-a obținut relația analitică privind consumul echivalentului de energie pe care o posedă combustibilul primar utilizat pentru producerea energiei electrice și termice, ținând cont de randamentul de conversie a combustibilului în forma solicitată de energie: la producerea separată a energiei electrice și termice și la producerea acestor tipuri de energii prin cogenerare. Rezultatele aplicației acestei relații de calcul este elucidată în baza unui calcul privind o situație concretă. În baza rezultatelor prezentate în lucrare se recomandă modificare a compartimentului Legii energiei termice în care se expune metoda de calcul a indicatorilor de eficiență energetică a cogenerării pentru tipurile de energie menționate.

Cuvinte-cheie: cogenerare, energie electrică și termică, randamentul global, metodologie calcul eficienței cogenerării.

Методика оценки эффективности cogeneration электрической и тепловой энергии Постолатий В.М.

Институт энергетике Академии наук Молдовы

Аннотация: Разработана методика, позволяющая рассчитывать экономию энергии первичного топлива при cogeneration электрической и тепловой энергии по сравнению с отдельными способами производства такого же количества данных видов энергии. Получено аналитическое выражение, связывающее расход энергии топлива на производство электрической и тепловой энергии с учетом коэффициента полезного действия (к.п.д.): при отдельных технологиях производства электрической и тепловой энергии в отдельности и суммарного к.п.д. при cogeneration данных видов энергии. Результаты иллюстрируются на конкретном примере. На основании полученных результатов рекомендуется внести изменение в Законе о тепловой энергии и cogeneration электрической и тепловой энергии, касающееся методики расчета показателей эффективности cogeneration указанных видов энергии.

Ключевые слова: cogeneration электрической и тепловой энергии, суммарный к.п.д., методика оценки эффективности cogeneration.

Введение

Рассмотрение вопроса об оценке эффективности cogeneration электрической и тепловой энергии по сравнению с отдельными способами производства данных видов энергии связано с выходом «Закона о тепловой энергии и cogeneration» [1]. Одной из основных целей указанного закона является продвижение cogeneration и систем централизованного теплоснабжения, эффективных с энергетической

точки зрения. Эффективность cogeneration технологий производства электрической и тепловой энергии показана в ряде отечественных и зарубежных работ [2-13], что свидетельствует о целесообразности развития данного направления работ в энергетике.

В тексте «Закона о тепловой энергии и cogeneration» [1] приводится методика расчета эффективности cogeneration электрической и тепловой энергии и определения преимуществ

когенерации по сравнению с отдельными традиционными способами производства данных видов энергии.

В качестве основного показателя оценки эффективности когенерации принято определение величины экономии объема первичной энергии топлива, полученной в результате производства электрической и тепловой энергии в когенерационном режиме, по сравнению с отдельными традиционными технологиями производства данных видов энергии. Величину экономии первичной энергии указано определять в процентах.

Однако воспользоваться приведенной в [1] методикой при выполнении конкретных расчетов и оценивать преимущества когенерации не представляется возможным, из-за того, что данная методика не учитывает ряд факторов, в связи с чем получаемые результаты являются недостоверными.

Настоящая статья имеет своей целью изложить новую методику расчета эффективности когенерации электрической и тепловой энергии, дающую правильные результаты. При этом начальная постановка задачи идентична той, которая изложена в [1].

При выполнении настоящей работы частично использованы результаты, содержащиеся в работе [2].

Основы новой методики оценки эффективности когенерации

При разработке новой методики расчета эффективности когенерации электрической и тепловой энергии и сопоставления с отдельными способами производства электрической и тепловой энергии приняты следующие условия:

- величины производственной в чистом виде электрической энергии при когенерации и при отдельном способе ($\mathcal{E}_{\text{э}}$) равны по величине;
- аналогичное условие относится и к величинам производимой тепловой энергии ($\mathcal{E}_{\text{т}}$), как при когенерации, так и при отдельном способах;
- суммарная величина энергии ($\mathcal{E}_{\Sigma} = \mathcal{E}_{\text{э}} + \mathcal{E}_{\text{т}}$), произведенная путем когенерации и при отдельных технологиях, одинаковы.

При дальнейшем изложении принято условие, что произведенная электрическая энергия выражена в виде теплового эквивалента. Имеется в виду, что 1 Гкал = 1,163 МВт·ч, или 1 МВт·ч = 0,8598 Гкал.

Выработанная при отдельной технологии производства электроэнергии, выраженная в тепловых единицах, определяется выражением:

$$\mathcal{E}_{\text{э}} = Q_{\text{э}} \cdot N_{\text{э}}, \quad (1)$$

где:

$\mathcal{E}_{\text{э}}$ – количество выработанной электроэнергии отдельным способом, выраженное в тепловом эквиваленте (в тепловых единицах измерения);

$Q_{\text{тэ}}$ – количество тепловой энергии топлива, затраченное на выработку электроэнергии в тепловых единицах;

$N_{\text{э}}$ – значение к.п.д. установок по производству электроэнергии, отн. ед.

Аналогично можно записать выражение количества тепловой энергии ($\mathcal{E}_{\text{т}}$), произведенной при отдельной технологии:

$$\mathcal{E}_{\text{т}} = Q_{\text{тэ}} N_{\text{тэ}}, \quad (2)$$

где:

$\mathcal{E}_{\text{т}}$ – количество выработанной тепловой энергии, выраженное в тепловых единицах;

$Q_{\text{тэ}}$ – количество тепловой энергии топлива, затраченное на выработку тепловой энергии отдельным способом, выраженное в тепловых единицах;

$N_{\text{тэ}}$ – значение к.п.д. установок (котельных) по производству тепловой энергии при отдельном способе, отн. ед.

Суммарная величина тепловой энергии топлива, затраченная на отдельную выработку электрической и тепловой энергии составит:

$$\mathcal{E}_{\Sigma} = \mathcal{E}_{\text{э}} + \mathcal{E}_{\text{т}} \quad (3)$$

Долевое отношение энергии топлива, затраченной на производство электрической и тепловой энергии в отдельности к суммарному объему можно записать из (3) в виде, соответственно:

$$D_{\text{э}} = \frac{\mathcal{E}_{\text{э}}}{\mathcal{E}_{\Sigma}}, \quad (4)$$

$$D_{\text{т}} = \frac{\mathcal{E}_{\text{т}}}{\mathcal{E}_{\Sigma}}, \quad (5)$$

Из выражений (4), (5) могут быть получены зависимости:

$$\mathcal{E}_{\text{э}} = \mathcal{E}_{\Sigma} D_{\text{э}}, \quad (6)$$

$$\mathcal{E}_{\text{т}} = \mathcal{E}_{\Sigma} \cdot D_{\text{т}}, \quad (7)$$

Далее, из выражений (1) и (2) получаем значение тепловой энергии топлива, затраченной на производство электрической и тепловой энергии в отдельности, соответственно:

$$Q_{\text{тэ}} = \frac{\mathcal{E}_{\text{э}}}{N_{\text{э}}}, \quad (8)$$

$$Q_{\text{тэ}} = \frac{\mathcal{E}_{\text{т}}}{N_{\text{тэ}}} \quad (9)$$

Суммарная тепловая энергия топлива, затраченная на производство электрической и тепловой энергии раздельным способом с учетом (8), (9) будет равна:

$$Q_{T.раз.} = \frac{\mathcal{E}_{ЭЭ}}{N_{ЭЭ}} + \frac{\mathcal{E}_{ТЭ}}{N_{ТЭ}} \quad (10)$$

Выражение (10) с учетом (4), (5) можно записать в виде:

$$Q_{T.раз.} = \frac{\mathcal{E}_D D_{ЭЭ}}{N_{ЭЭ}} + \frac{\mathcal{E}_D D_{ТЭ}}{N_{ТЭ}}, \quad (11)$$

Или

$$Q_{T.раз.} = \mathcal{E}_\Sigma \left(\frac{D_{ЭЭ}}{N_{ЭЭ}} + \frac{D_{ТЭ}}{N_{ТЭ}} \right) \quad (12)$$

Из выражения (12) находим:

$$\mathcal{E}_\Sigma = \frac{Q_{T.раз.}}{\frac{D_{ЭЭ}}{N_{ЭЭ}} + \frac{D_{ТЭ}}{N_{ТЭ}}}. \quad (13)$$

Полученные выражения (12), (13) определяют зависимость величин затрат тепловой энергии топлива на производство электрической и тепловой энергии, их суммы, долевого соотношения величин энергии и к.п.д. при раздельном производстве данных видов энергии.

При когенерации (совместном производстве) электрической и тепловой энергии используется понятие суммарного к.п.д. (N_Σ), упоминаемое в Законе о когенерации (называемого глобальным к.п.д.), [1].

Выражение суммарного к.п.д. при когенерации может быть записано в следующем виде:

$$N_\Sigma = \frac{\mathcal{E}_{ЭЭ} + \mathcal{E}_{ТЭ}}{Q_{T.коген.}} = \frac{\mathcal{E}_\Sigma}{Q_{T.коген.}}. \quad (14)$$

откуда:

$$Q_{T.коген.} = \frac{\mathcal{E}_\Sigma}{N_\Sigma}, \quad (15)$$

где $\mathcal{E}_{ЭЭ}$ – электрическая энергия, выработанная при когенерации, приведенная к тепловым единицам измерения;

$\mathcal{E}_{ТЭ}$ – тепловая энергия, выработанная при когенерации, измеряемая в тепловых единицах;

\mathcal{E}_Σ – суммарная энергия, выработанная при когенерации, измеряемая в тепловых единицах измерения;

$Q_{T.коген.}$ – суммарная тепловая энергия затраченного топлива при когенерации.

Для объективной оценки эффективности когенерации и возможности сравнения с раздельным производством электрической и тепловой энергии необходимо соблюсти сопоставимые условия, а именно, количество произведенной энергии (как электрической, так и тепловой и их сумма) должно быть одинаковым для обоих способов производства. Эффективность когенерации определять по величине разности затрачиваемого топлива, или (что, методически, то же самое) количества тепловой энергии затраченного топлива.

Выше были введены обозначения:

$Q_{T.раз.}$ – количество тепловой энергии топлива, затраченное при раздельном способе производства электрической и тепловой энергии;

$Q_{T.коген.}$ – количество тепловой энергии топлива, затраченное при когенерации электрической и тепловой энергии.

Очевидно, что их разность (ΔQ_T), отнесенная к большему из них, и будет показателем оценки эффективности сопоставляемых технологий. Полагаем, что $Q_{T.коген.} < Q_{T.раз.}$. При этом можно записать:

$$\Delta Q_T = \left(\frac{Q_{T.раз.} - Q_{T.коген.}}{Q_{T.раз.}} \right) \cdot 100\%, \quad (16)$$

где энергию ΔQ_T , выраженную в %, можно трактовать как экономию первичной энергии топлива при когенерации электрической и тепловой энергии по сравнению с технологией раздельного их производства.

Величина ΔQ_T будет положительной в случае большей эффективности когенерации, или отрицательной в случае, если раздельное производство одного и того же количества энергии потребует меньшего количества первичной энергии топлива.

Отметим главную особенность когенерационной технологии выработки электрической и тепловой энергии, а именно то, что при этом физический смысл имеет общий (суммарный, глобальный) к.п.д. (N_Σ) использования первичной энергии топлива. Величина суммарного к.п.д. зависит от долевого соотношения вырабатываемых при когенерации видов энергии в их суммарном измерении.

Значения, в пределах которых может изменяться величина (N_Σ), зависят от режима работы когенерационной установки. Характерными предельными режимами являются:

- режим при минимальном производстве тепловой энергии и максимальной выработке электрической энергии, при этом к.п.д. будет иметь минимальное значение ($N_{\Sigma min}$);

- режим при минимальном производстве электрической энергии и максимальной выработке тепловой энергии, при котором к.п.д. будет иметь максимальное значение ($N_{\Sigma \max}$).

Анализ применяемых когенерационных технологий показывает, что нижнему пределу соответствует режим при выработке только электроэнергии. В случае применения газотурбинных установок (ГТУ) режим при выработке только электроэнергии ($\mathcal{E}_{\text{ээ}}=1$, а $\mathcal{E}_{\text{тэ}}=0$), т.е. при отсутствии утилизации тепловой энергии сбросных продуктов сгорания топлива, для целей отопления и горячего водоснабжения, характеризуется значением коэффициента полезного действия, находящемся в минимальных пределах (26-35)%, что может быть обозначено, как ($N_{\Sigma \min}$). При утилизации теплоты сбросных продуктов сгорания к.п.д. установки возрастает. При установке дополнительно к газовой еще и паровой турбины, т.е. реализации технологии (ПГУ) и применении мер по максимальному использованию тепловой энергии сжигаемого топлива значение суммарного к.п.д. установки может быть достигнуто значений 70-75%. В случае, если когенерационная установка используется только для выработки тепловой энергии, т.е. при $\mathcal{E}_{\text{ээ}}=0$, а $\mathcal{E}_{\text{тэ}}=1$), к.п.д. использования первичной энергии топлива может достигнуть значений 90-92%, т.е. как на лучших котельных. Это значение к.п.д. может быть обозначено как ($N_{\Sigma \max}$). Зависимость суммарного к.п.д. когенерационной установки во всем диапазоне изменения соотношения производимой электрической и тепловой энергии к общей может быть различным. Реальная зависимость величины суммарного к.п.д. когенерационной установки от отношения $\frac{\mathcal{E}_{\text{ээ}}}{\mathcal{E}_{\text{тэ}}}$ может быть определена экспериментальным способом.

Частным случаем изменения суммарного к.п.д. от соотношения производимых видов энергии является линейная зависимость, т.е.:

$$N_{\Sigma} = N_{\Sigma \min} + (N_{\Sigma \max} - N_{\Sigma \min}) \cdot \frac{\mathcal{E}_{\text{тэ}}}{\mathcal{E}_{\Sigma}},$$

или

$$N_{\Sigma} = N_{\Sigma \min} + (N_{\Sigma \max} - N_{\Sigma \min}) \cdot D_{\text{тэ}}, \quad (17)$$

где $D_{\text{тэ}}$ - определяется из выражения (5)

$$D_{\text{тэ}} = \frac{\mathcal{E}_{\text{тэ}}}{\mathcal{E}_{\Sigma}}. \quad (18)$$

Из формулы (14) находим:

$$\mathcal{E}_{\Sigma} = Q_{\text{т.коген.}} \cdot N_{\Sigma}. \quad (19)$$

В выражениях (13) и (19) левые части равны друг другу (согласно принятому выше условию).

Следовательно, можно приравнять и правые части выражений (13) и (19). В результате получим:

$$\frac{Q_{\text{т.раз.}}}{\frac{D_{\text{ээ}}}{N_{\text{ээ}}} + \frac{D_{\text{тэ}}}{N_{\text{тэ}}}} = Q_{\text{т.коген.}} \cdot N_{\Sigma} \quad (20)$$

Преобразуем формулу (20) к виду:

$$\frac{Q_{\text{т.раз.}}}{Q_{\text{т.коген.}}} = N_{\Sigma} \left(\frac{D_{\text{ээ}}}{N_{\text{ээ}}} + \frac{D_{\text{тэ}}}{N_{\text{тэ}}} \right) \quad (21)$$

или

$$\frac{Q_{\text{т.коген.}}}{Q_{\text{т.раз.}}} = \frac{1}{N_{\Sigma} \left(\frac{D_{\text{ээ}}}{N_{\text{ээ}}} + \frac{D_{\text{тэ}}}{N_{\text{тэ}}} \right)} \quad (22)$$

По выражению (22) можно определить снижение затрат энергии топлива при использовании когенерации по отношению к раздельному производству электрической и тепловой энергии в относительных единицах.

Для того, чтобы определить экономию топлива при когенерации по отношению к раздельной выработке электрической и тепловой энергии в процентах можно, записать с учетом (22) следующее выражение:

$$\Delta Q_{\text{т}} = \left[1 - \left(\frac{Q_{\text{т.коген.}}}{Q_{\text{т.раз.}}} \right) \right] \cdot 100\% = \left[1 - \left(\frac{1}{N_{\Sigma \text{коген.}} \left(\frac{D_{\text{ээ}}}{N_{\text{ээ}}} + \frac{D_{\text{тэ}}}{N_{\text{тэ}}} \right)} \right) \right] \cdot 100\% \quad (23)$$

где:

$$N_{\Sigma} = N_{\Sigma \min} + (N_{\Sigma \max} - N_{\Sigma \min}) D_{\text{тэ}} \quad (24)$$

В формуле (24) обозначено:

$$D_{\text{тэ}} = \frac{\mathcal{E}_{\text{тэ}}}{\mathcal{E}_{\Sigma}} \quad (25)$$

Проверка:

PROBLEMELE ENERGETICII REGIONALE 3(29) 2015
ELECTROENERGETICĂ

При $\frac{\partial_{TЭ}}{\partial_{\Sigma}} = 0$:

$$N_{\Sigma} = N_{\Sigma \min} + (N_{\Sigma \max} - N_{\Sigma \min}) \cdot 0 = N_{\Sigma \min}$$

При $\frac{\partial_{TЭ}}{\partial_{\Sigma}} = 1$:

$$N_{\Sigma} = N_{\Sigma \min} + (N_{\Sigma \max} - N_{\Sigma \min}) \cdot 1 = N_{\Sigma \max}$$

В качестве исходных примем следующие условия:

$\partial_{\Sigma} = 1$; $N_{\min} = 0,35$ (к.п.д. конденсационной электростанции, вырабатывающей только электроэнергию); $N_{\max} = 0,9$ (к.п.д. котельной, производящей только тепловую энергию).

Расчет выполнен в табличном виде и проиллюстрирован на рис.1.

Далее выполним иллюстрационный расчет на конкретном примере.

Таблица 1.

№ п/п	Показатели	Вариант 1 при $N_{\Sigma \min}$	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4	Вариант 5 при $N_{\Sigma \max}$
1	∂_{Σ}	1	1	1	1	1
2	$\partial_{ЭЭ}$, отн. ед.	0	0,75	0,5	0,25	0
3	$\partial_{TЭ}$, отн. ед.	0	0,25	0,5	0,75	1
4	$D_{TЭ} = \frac{\partial_{TЭ}}{\partial_{\Sigma}}$, отн. ед.	0	0,25	0,5	0,75	1
5	$N_{\Sigma \max} - N_{\Sigma \min}$	0,9-0,35=0,55	0,55	0,55	0,55	0,55
6	$(N_{\Sigma \max} - N_{\Sigma \min}) \cdot D_{TЭ}$	0	0,137	0,275	0,412	0,55
7	$N_{\Sigma \text{коген.}}$	0,35	0,487	0,625	0,762	0,9
8	$D_{ЭЭ} = \frac{\partial_{ЭЭ}}{\partial_{\Sigma}}$	1	0,75	0,5	0,25	0
9	$D_{TЭ} = \frac{\partial_{TЭ}}{\partial_{\Sigma}}$	0	0,25	0,5	0,75	1
10	$\frac{D_{ЭЭ}}{N_{ЭЭ}} = \frac{D_{ЭЭ}}{0,35}$	2,85	2,14	1,42	0,714	0
11	$\frac{D_{TЭ}}{N_{TЭ}} = \frac{D_{TЭ}}{0,9}$	0	0,277	0,55	0,833	1,11
12	$\frac{D_{ЭЭ}}{N_{ЭЭ}} + \frac{D_{TЭ}}{N_{TЭ}}$	2,85	2,417	1,97	1,547	1,11
13	$N_{\Sigma} \left(\frac{D_{ЭЭ}}{N_{ЭЭ}} + \frac{D_{TЭ}}{N_{TЭ}} \right)$	0,997	1,17	1,23	1,178	0,999
14	[1:(п.13)]	≈ 1	0,854	0,813	0,848	1
15	1-(п.14)	0	0,146	0,187	0,152	0
16	(п.15)·100= ΔQ_T , %	0	14,6	18,7	15,2	0



Рис.1.Зависимость экономии тепловой энергии при когенерации

Как видно из приведенных результатов расчетов при принятых исходных данных наибольшая экономия энергии первичного топлива для рассматриваемого примера когенерации электрической и тепловой энергии по сравнению с отдельным их производством достигает величины 18,7%, при соотношении объемов вырабатываемых видов энергии на уровне 0,5. При других долевых соотношениях объемов вырабатываемых электрической и тепловой энергии этот эффект по сравнению с отдельным производством данных видов энергии изменяется в пределах 0÷18,7%.

Выводы

1. Предложена методика определения экономии энергии первичного топлива при когенерации электрической и тепловой энергии по сравнению с технологиями раздельного производства того же количества указанных видов энергии.
2. В основу методики положено новое аналитическое выражение, определяющее зависимость расхода тепловой энергии первичного топлива на производство электрической и тепловой энергии при производстве раздельными способами и при их когенерации с учетом соответствующих значений к.п.д.
3. Использование предложенной методики проиллюстрировано на конкретном примере, на котором показано, что максимальный эффект экономии энергии первичного топлива при когенерации электрической и тепловой энергии при принятых расчетных условиях достигает величины порядка 18,7%, по сравнению с затратами энергии первичного топлива на производство того же количества электрической и тепловой энергии при их раздельном производстве.
4. Полученные результаты и проведенный анализ свидетельствуют о том, что предложенная методика дает логически обоснованные результаты и может быть использована при проведении расчетов показателей эффективности применения когенерации электрической и тепловой энергии.
5. Основываясь на положениях разработанной новой методики, рекомендуется внести соответствующее изменение в Законе о тепловой энергии и продвижении когенерации [1].

Литература (References)

- [1] *Zakon o teplovoi energii i prodvijenia kohgeneratii* [Law of thermal energy and cogeneration]. Law № 414 of Republic of Moldova, № 1220-VII, Kishinau, 30 iunie 2014.
- [2] Postolatii V.M., Bysova E.V. *Podhod k сопоставleniiu viboru tipov istocinikov electriceskoi i teplovoi energii с uciotom udelinih rashodov topliva* [The approach to the preparation and the choice of types of sources of electricity and heat, taking into account the specific fuel consumption]. *Problemi regionalinoi energeticki energetici*, 2012, nr 3. (in Russian).

[3] Melentiev L.A. *Izbranie trudi. Naucinie osnovi teplofikatii i energosnabjenia gorodov b promislenih predpriatii*. [Selected works. Scientific bases of district heating and energy supply cities and industrial enterprises]. Moscow 1993.

[4] Melentiev L.A. *Vibor sootnosenii elektriceskih i teplobih moscnosti teplofikacionih sistem* [Selection of the ratio of electric and thermal power cogeneration systems.]. M.: Gosenergoizdat, 1952.

[5] Doinikov Ia.P., Melentiev L.A. *Osnovnie metodiceskie voprosi opredelemnja ekonomicevnosti teplofikatii*. [Key methodological issues determining the efficiency of district heating] Moscow, 1961.

[6] Melentiev L.A. e.a. *Oblasti ekonomiceskogo primeneniia shem kombinirovannogo i razdelinigi energosnabjenia* [Areas of economic considerations for the combined and separate power supply]. M.: Gosenergoizdat, 1961.

[7] Klimenko V.N., Mazur A.I., Sabashuk P.P. *Kogeneracionnie sistemi с teplobimi dvigateleami. Spravocinoe posobie. V 3-h ciasteah* [Cogeneration systems with heat engines: A Reference Guide. - In 3 parts; Part 1], Kiev, 2008.

[8] Podkovalikov S.V., Senderov S.M. Stennikov V.A. *Energetica XXI veka: sistemi energetiki i upravlenie imi*. [Energy XXI century: energy systems and management], Kiev 2004.

[9] Siegler D., Lerchner B., Leevuen I.V. Pegus 12. *World's Most Efficient Power Station*. Transactions of ASME. October. 1990.

[10] *Quantensprung bei gasturbion Spart Energie* // VDI Nachrichten 24. September 1993. p.36.

[11] Boardman R., White A., Wusterbarth M. *Seondchon Comes on line record time*. Modern Power Systems. August 1993.

[12] Viereck D, Weicht U, Seelinger H, Wettstein H.E. *Combined Plants based on GT13E2 Gas Turbines ABB Power Generation*, 1993.

[13] *Stirikovici M.A. Teplotehnika I teplofizika. Ekonomika energetiki i ekologia* [Heat and thermal physics. Economy Energy and Environment]. Moscow, 2002.

Сведения об авторе.



Постолатий Виталий Михайлович, д.х.т.н, академик, заведующий лабораторией управляемых электропередач Института энергетики АНМ. Сфера научных интересов: управляемые, гибкие, компактные электропередачи, современные средства регулирования, энергетическая безопасность
E-mail: postolati@rambler.ru