

A Comparative Analysis of the Efficiency of Thermal and Electric Energy Production in the District Heating Systems

Berzan V., Postolaty V., Bikova Elena, Babich V.

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

Abstract. In the base of the technical and economic indicators of the exploitation, an analysis of the efficiency of operation of Combined Heat and Power stations (CHP) in the district heating system at various loads during the year have been provided. The value of specific indicators of operation of the CHPs have been determined: a specific consumption of the fuel, the cost of the fuel per unit of energy produced, as well as the difference between the selling price of energy and acquisition costs of the fuel. As have been found, the optimization of CHP's of the district heating loading during the year in the Chisinau municipality can offer an economic benefit amounted at 13-19 mln. lei MD in comparison with the current practice of CHP's generation capacity use.

Keywords: CHP, efficiency, assessment, specific consumption, the share of energy produced fuel cost.

Analiza comparativă a eficienței producerii energiei termice și electrice în sistemele de alimentare centralizată cu energie termică

Berzan V., Postolati V., Bicova E., Babici V.

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

Rezumat. În lucrare s-a realizat analiza eficienței funcționării centralelor electrice cu termoficare (CET) a sistemului de alimentare centralizată cu energie termică în baza indicatorilor tehnico-economici de exploatare a lor la diverse sarcini termice pe parcursul anului. S-au determinat valorile indicatorilor specifici de funcționare ai CET-urilor: consumul specific de combustibil, costul combustibilului la producerea unei unități de energie, precum și diferența costului vânzării energiei și a cheltuielilor de procurare a combustibilului utilizat. S-a constatat, că optimizarea încărcării CET-urilor pe parcursul anului a sistemului centralizat de alimentare cu energie termică a orașului Chișinău poate asigura un beneficiu economic la nivel de 13-19 mil lei în comparație cu practica curentă de utilizarea a capacităților de generare a CET-urilor.

Cuvinte-cheie: CET, eficiență, evaluare, consum specific, cota combustibilului în costul energiei produse.

Сопоставительный анализ эффективности производства тепловой и электрической энергии в системах централизованного теплоснабжения

Берзан В.П., Постолатий В.М., БЫКОВА Е.В., Бабич В.М.

Институт энергетики Академии наук Молдовы
Кишинев, Республика Молдова

Реферат. В работе выполнен анализ эффективности работы тепловых электростанций централизованного теплоснабжения на основе технико-экономических показателей их работы при различной тепловой нагрузке в разное время года. Определены удельные показатели работы ТЭЦ: удельный расход топлива, стоимость использованного топлива при производстве одной единицы энергии, а также разность стоимости поставленной потребителю энергии и затрат на закупку первичного топлива. Показано, что оптимизация использования в течение года генерирующих мощностей в централизованной системе теплоснабжения г. Кишинэу может обеспечить экономический эффект на уровне 13-19 млн. леев по сравнению с базовым алгоритмом использования ТЭЦ.

Ключевые слова: ТЭЦ, эффективность, оценка, удельный расход топлива, доля стоимости топлива в стоимость произведенной энергии.

I. ВВЕДЕНИЕ

Тепловая и электрическая энергия представляют собой специфические коммерческие продукты, причем полагают, что электрическая энергия является более ценной по сравнению с тепловой. Для получения как электрической, так и тепловой

энергии необходимо осуществить преобразования других видов энергии (химической, механической, атомной, гидравлической, солнечной и т.п.). Поскольку любое преобразование происходит с потерями энергии, то стремление использовать самые эффективные и

современные технологии при производстве желаемого или требуемого вида энергии представляется обоснованным и целесообразным.

В современной энергетике доминируют технологии преобразования углеводородного топлива в тепловую и электрическую энергию. Неравномерность распределения месторождений углеводородов на Земле, необходимость их транспорта на большие расстояния (к местам потребления), а также ограничения возможности их покупки в требуемых количествах создают сложности для надежного обеспечения конечных потребителей энергией.

Повышение эффективности использования энергетического потенциала первичного топлива является актуальной экономической и социальной задачей, которая решается за счет внедрения новых энергоэффективных технологий. Актуальность этой проблемы подтверждается и тем, что для углеводородной энергетики первичное топливо может достигать до 80 % от конечной стоимости произведенной энергии. Поэтому выбор технологии производства энергии, а также режимов работы источников, использующих углеводороды, должен базироваться также на критерии эффективности использования первичного топлива.

Когенерация относится к самым передовым способам производства тепловой и электрической энергии, но из-за различных физических свойств этих видов энергии возникают некоторые проблемы, к которым можно отнести: разнесение затрат производства на тот или иной вид энергии [1], оценку экономической эффективности работы когенерационных источников в зависимости от режима нагрузки и времени их работы. Проблема сопоставительного анализа эффективности источников генерации энергии [2] часто рассматривается только с технической стороны с использованием привычных для инженеров показателей, например, КПД, доля электрической и тепловой энергии, произведенной в режиме когенерации, удельные показатели расхода топлива и т.п., которые не всегда корректно могут отобразить экономическую эффективность работы рассматриваемого объекта.

Задача настоящей работы состоит в разработке и обосновании подхода

сопоставительного анализа эффективности работы источников производства электрической и/или тепловой энергии на основе производственно-финансовых показателей их работы за определенный период времени.

II. ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПОДХОДЫ ПРИ СОПОСТАВИТЕЛЬНОМ АНАЛИЗЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСТОЧНИКОВ ГЕНЕРАЦИИ ЭНЕРГИИ

Для оценки эффективности работы источников генерации энергии и систем транспорта и распределения тепловой энергии потребителям используются наборы и группы различных показателей (индикаторов): удельный расход топлива на производстве единицы энергии, КПД, который имеет в своей основе закон сохранения энергии, эксергетический КПД, который базируется на втором законе термодинамики для всей системы [3].

При анализе и оценке эффективности структур, в которых в качестве первичного источника энергии служит тепло, полученное за счет сжигания первичного топлива, в качестве показателя энергетической эффективности применяется коэффициент использования топлива (КИТ) [3,4]. Показатель КИТ чаще используется в странах Западной Европы, а в России и странах Восточной Европы используется удельный расход топлива на производстве единицы электрической и тепловой энергии [4]. Также используется величина „термическая эффективность”, которая характеризует долю тепловой энергии, полученной при сжигании первичного топлива, которая преобразуется в электричество и/или тепло [4], доля электрической и тепловой мощности энергетической установки [5], суммарный КПД процесса когенерации, показатель когенерации высокой эффективности [6].

В настоящее время достаточно часто используется понятие когенерации высокой эффективности. Это понятие имеет в основе уровень снижения расхода топлива при когенерации в сравнение с отдельным производством электрической и тепловой энергии. Если технология позволяет снизить расход топлива при комбинированном производстве электрической и тепловой энергии на 10% и более по сравнению с отдельным производством электрической и

тепловой энергии, то это служит критерием и основанием для утверждения, что речь идет о когенерации высокой эффективности [6,7].

Производство тепловой и электрической энергии в режиме когенерации создает ряд трудностей при оценке уровня эффективности функционирования различных источников генерации, работающих в составе централизованных систем теплоснабжения. Известен ряд подходов, используемых для оценки эффективности источников когенерации. Эти подходы имеют в своей основе физические основы экономии топлива при когенерации, сопоставление значения суммарного КПД, распределение топлива по виду произведенной энергии и т.п.[8].

При оценке эффективности работы ТЭЦ применяют около 20 методов и способов [9], но чаще всего исследователи используют балансовый (физический) метод и эксергетический подход. Эти методы сводятся в итоге к определению удельных затрат топлива на единицу произведенной энергии.

Специфика задачи оценки эффективности ТЭЦ связана с тем, что электрическая и тепловая энергия поставляется на различные рынки, используя при этом различные единицы измерения количества поставляемой потребителям энергии. Выражение тепловой и электрической энергии в одинаковых единицах измерения (физических или денежных) позволяет более явно выполнить сопоставительный анализ работы источников генерации с различным составом энергетического оборудования, и в конечном итоге оценить и эффективность используемой технологии производства энергии.

Поскольку результаты финансовой деятельности любого предприятия, в том числе оказывающего энергетические услуги, определяют ее конкурентоспособность и благополучие, анализ эффективности их работы целесообразно представить в денежном выражении. Это является следствием того, что в конечном итоге электрическая и тепловая энергия продаются и представляются в стоимостной форме (денежный эквивалент).

Отметим, что денежный эквивалент энергии зависит от различных факторов: вид и характеристики топлива, доступность первичного топлива и доли импорта, уровень технологии преобразования, передачи и

распределения энергии, ситуация на рынках топлива и энергии, уровень субсидий, тарифной политики государства [10], платежеспособности населения и т.п. Отсюда следует, что показатель, который мы определяем как эффективность когенерации, зависит как от технико-технологических особенностей работы энергетических структур, так и от ситуации на финансовом рынке и в социальной сфере [11].

Экономическая эффективность ТЭЦ определяется показателями по прибыли и рентабельности для определенного периода эксплуатации. Прибыль и рентабельность зависят не только от уровня тарифов на электрическую и тепловую энергию, но и от метода расчета тарифов [10]. Топливо имеет наибольшую долю в текущих затратах. Считается, что ТЭЦ находится в зоне экономического комфорта, если рентабельность предприятия находится на уровне 10-20% [10].

Перераспределение (в сторону повышения) затрат топлива на производство электрической энергии на ТЭЦ [10] также приводит к определенным трудностям при сопоставлении эффективности работы ТЭЦ в составе централизованных систем теплоснабжения. Проблема сравнения по критерию “эффективность” усложняется, если сопоставляемые ТЭЦ имеют разную мощность и работают при переменной тепловой нагрузке. В зависимости от структуры силового оборудования ТЭЦ имеют разные показатели отношения электрической и тепловой мощности к суммарной мощности ТЭЦ.

Эксплуатационные характеристики ТЭЦ зависят от различных факторов, а возможные их отклонения в процессе работы могут привести к существенным изменениям технико-экономических показателей предприятия. Эти отклонения влияют на конечную стоимость произведенной энергии.

Фактическая стоимость произведенной энергии на ТЭЦ не постоянна, и в различные периоды года изменяется в пределах 20-90% из-за изменения значения коэффициента использования топлива (КИТ), поскольку значение КИТ в процессе производства энергии может уменьшиться до 0.35 от его нормируемого значения [12]. Этот факт подтверждает необходимость и целесообразность комплексного подхода при оценке эффективности работы когенера-

ционных источников, а также необходимости оптимизации режима генерации энергии в системах централизованного теплоснабжения на основе экономического критерия.

Использование для оценки эффективности, к примеру наибольшего значения соотношения, между произведенной электрической и тепловой энергией не отражает однозначно и в полной мере преимущества ТЭЦ с таким показателем в сравнении с другими электростанциями, на которых этот показатель ниже. Например, в [12] для повышения энергетической эффективности ТЭЦ рекомендуется уменьшить долю выработанной электрической энергии в общем объеме произведенной.

Изначальное принятие, что электрическая энергия является более ценным продуктом по сравнению с тепловой (эксергический метод) для построения стратегии выработки энергии на ТЭЦ, может привести к ошибочной оценке эффективности работы источников в режиме когенерации [13].

III. МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В работе [14] рассмотрена проблема анализа эффективности работы ТЭЦ с использованием официальной статистической информации. Статистическая информация позволяет получить стохастические модели, которые могут быть использованы для определения параметров и статических характеристик ТЭЦ при изменении их нагрузки, в том числе тепловой.

Целью любого экономического агента является получение финансового результата, который бы превышал его затраты, т.е. получение добавленной стоимости от производственной деятельности. В случае производства и продажи энергии доля стоимости покупного первичного топлива может составить около 80% в цене продаваемой энергии. Например, анализ структуры тарифов на электрическую и тепловую энергию S.A. TERMOELECTRICA в 2016 г. [15] дает для данного показателя значение на уровне 78,6%. При такой ситуации, обоснованно рассматривать в качестве основной переменной величины затраты на покупку топлива, а в качестве выходной величины - выручку от продажи энергии потребителям.

Такой подход обоснован и тем, что доля остальных затрат, которые сравнительно постоянны по сравнению с затратами на покупку первичного топлива, составляют порядка 20% в цене продаваемой энергии. При анализе будем полагать, что все затраты, за исключением топлива, являются в пределах рассматриваемого периода постоянными. Первичное топливо и его стоимость рассмотрим, как переменную величину, которая зависит от количества произведенной энергии. Поскольку для ТЭЦ тепловая энергия является основным коммерческим продуктом, то в качестве независимой переменной рассмотрим ее тепловую мощность. Электрическая мощность является производной величиной от тепловой мощности в режиме производства энергии по схеме когенерации.

A. Первичная информация и показатель эффективности

Информация, представляемая в открытом доступе производителями энергии, имеет достаточно ограниченный объем и охватывает определенные интервалы времени, например, технико-экономические показатели в течение одного квартала. Эта информация может содержать сведения о максимальной электрической и тепловой располагаемой мощности в отчетном периоде, объемы произведенной и отпущенной энергии, общий КПД, количество использованного топлива, объем выбросов парниковых газов, уровень оплаты потребителями оказанных энергетических услуг.

При анализе экономической эффективности используются значения тарифов и стоимость топлива, регламентируемые национальным регулятором. Если на основе обработки статистической информации получены функциональные зависимости базовых параметров, то имеется возможность выполнить параметрический анализ эффективности работы ТЭЦ при различных условиях работы (изменение нагрузок, тарифов на топливо, электрическую и тепловую энергию, в том числе учесть при необходимости и замену топлива, т.е. энергетические показатели используемого вида топлива.

Оценка эффективности работы источников генерации может быть выполнена с использованием натуральных единиц измерения (МВт, Гкал, Гкал/ч, т.у.т., кВтч), именных удельных единиц измерения (г/кВтч, кг/Гкал), а также в системе относительных единиц [14].

Поскольку базовым видом энергии источников систем централизованного теплоснабжения является тепло, то при анализе эффективности работы ТЭЦ и котельных выберем тепловую мощность. В этом случае электрическая мощность ТЭЦ является вторичным производным параметром, как и вырабатываемая электрическая энергия.

В качестве показателя эффективности определим создаваемую добавленную стоимость при преобразовании первичного покупного топлива в энергию, которая продается поставщику или поставляется непосредственно конечному потребителю. Электроэнергия поставляется через поставщика в электроэнергетическую систему, а финансовые показатели вычисляются на основе тарифа, установленного национальным регулятором.

В системах централизованного теплоснабжения тепло может производиться как ТЭЦ, так и котельными. На ТЭЦ часть произведенной энергии (это относится в большей степени к электрической энергии) используется на собственные нужды ТЭЦ. В случае котельных электрическая энергия, требуемая для их работы, покупается у электрокомпаний. Для того, чтобы можно было сравнивать источники генерации систем централизованного теплоснабжения, необходимо привести их к сопоставимым условиям работы. Поэтому электрическую энергию покупаемую котельными, целесообразно отнести к категории собственных нужд котельной.

Тепловая энергия также может продаваться поставщику по установленным тарифам или на основе контракта, но существует и другая опция, когда производитель является интегрированным по вертикали предприятием и это предприятие занимается производством, транспортом и распределением тепловой энергии конечному потребителю. При таком раскладе интегрированное по вертикали предприятие можно рассматривать как *“черный ящик”* входом которого является топливо, а

выходом отпущенная конечному потребителю энергия. Как первое, так и второе удобно представить в стоимостном виде.

Остальные влияющие факторы отнесем к группе возмущающих величин, амплитуда которых значительно меньше, чем размах колебания нагрузки, а, следовательно, это относится непосредственно и к объему топлива, используемого в технологическом процессе. По сути, все факторы, которые не относятся к первичному топливу (входная величина) и энергии (выходная величина), можно представить в качестве постоянной величины в рассматриваемом временном диапазоне.

Принимая изложенные условия за основу, можно предложить алгоритм анализа эффективности источников генерации электрической и/или тепловой энергии, которые работают в режиме квазипеременной тепловой нагрузки в составе централизованной системы теплоснабжения. В качестве основного показателя для сопоставления различных источников генерации электрической и тепловой энергии в системе централизованного теплоснабжения зададим разность между стоимостью, произведенной (или проданной потребителю) энергии и стоимостью покупного первичного топлива. Предлагается назвать эту величину *“добавленная стоимость”* преобразования первичного топлива в энергию.

В случае производства тепловой энергии котельными необходимо при определении *“добавленной стоимости”* вычесть стоимость электроэнергии, поставленной из распределительных сетей.

В. Алгоритм оценки эффективности источника генерации

1. Обработка и анализ первичных данных (статистические данные об эксплуатации, о тарифах и т.п.) и изменениях этих величин на протяжении рассматриваемого временного периода. Получение числовых рядов для заданных дискретных интервалов времени. Например, эти временные интервалы задаются в зависимости от особенностей характера изменения тепловой нагрузки и/или особенностей систем учета произведенной

- энергии: ежедневно, еженедельно, ежемесячно или поквартально.
- Расчет усредненных значений эквивалентной тепловой мощности P_q и электрической мощности P_e источника для заданного или установленного интервала наблюдения, например, для квартала. Использование в качестве дискретизации по времени квартала исходит из того, что предприятия чаще всего оформляют производственно-финансовые показатели поквартально. Значение эквивалентной мощности генерации источника вычисляется из объема произведенной тепловой $W_{q.p.}$ и электрической $W_{e.p.}$ энергии или отпущенной тепловой энергии $W_{q.l.}$ от коллектора и электрической энергии $W_{e.l.}$ с трансформаторных шин. Данные о собственном потреблении тепловой энергии производителями встречаются редко, поскольку доля тепловой энергии на собственные нужды является незначительной и не превышает 0.15% от произведенной тепловой энергии. Потому при анализе можно принять, что произведенная и отпущенная тепловая энергия имеют одинаковые значения, т.е. $W_{q.p.} = W_{q.l.}$. Собственное потребление электрической энергии на ТЭЦ $W_{e.c.p.}$ и значение эквивалентной электрической мощности $P_{e.c.p.}$, соответствующей этому потреблению, определяется как разность произведенной и отпущенной электрической энергии с шин ТЭЦ, т.е., $W_{e.c.p.} = W_{e.p.} - W_{e.l.}$. Эквивалентная мощность генерации для покрытия собственных нужд вычисляется по формуле $P_{e.c.p.} = W_{e.c.p.} / \Delta t$, где Δt - продолжительность в часах интервала дискретизации по времени для принятой схемы учета произведенной энергии, например, в часах. В случае поквартального учета $\Delta t = 2190$ ч. Значение среднеквартальной мощности генерации вычисляется по формуле $P_{e.c.p.} = W_{e.c.p.} / 2190$ ч. Аналогично вычисляются среднеквартальные (эквивалентные) мощности генерации тепловой энергии $P_q = W_{q.p.} / 2190$ и электрической энергии $P_{e.p.} = W_{e.p.} / 2190$.
 - Приведение и представление используемых при анализе величин к одной системе единиц измерения, например, СИ. Это относится и к единицам, характеризующие в целом, производственно-финансовую деятельность предприятия. При приведении величин к одной системе единиц рекомендуется использовать соотношения: 1 МВтч=1,163 Гкал; 1 т.у.т.=7 Гкал=8,141 МВтч; природный газ 1 м³ =8050 ккал (данные АО «Молдовагаз»); 1 Гкал=124,2 м³ природного газа и 1 МВтч=106,8 м³ природного газа.
 - Получение аппроксимирующих уравнений зависимости эквивалентной мощности генерации электрической энергии $P_{e.p.} = f(P_q)$ и эквивалентной мощности генерации электрической энергии на собственные нужды источника $P_{e.c.p.} = (P_q)$, где P_q - независимая переменная, которая представляет значение эквивалентной тепловой мощности источника (усредненное значение для заданного интервала времени Δt , например квартала). Аппроксимирующие функции $P_{e.p.} = f(P_q)$ и $P_{e.c.p.} = (P_q)$ определяются, используя известные значения производственных показателей работы источника генерации для разных тепловой и электрической нагрузок.
 - Определение усредненного значения коэффициента использования топлива (КИТ) для временного интервала Δt , например квартала. Значение параметра КИТ вычисляется как отношение суммы электрической и тепловой энергии ($W_{q.p.} + W_{e.p.}$) (или мощности), произведенной на интервале времени Δt к энергии W_{com} (мощности), содержащиеся в первичном топливе: $КИТ = (W_{q.p.} + W_{e.p.}) / W_{com}$. Для получения аппроксимирующей зависимости $КИТ = f(P_q)$ необходимо использовать экспериментальные данные (эксплуатационные показатели источника), где P_q - это эквивалентная тепловая мощность

- генерации источника. Аппроксимирующая функция $KIT = f(P_q)$ используется при определении текущих значений KIT при изменении тепловой мощности P_q источника. Эта аппроксимация может быть представлена полиномом или может быть и кусочно-линейной. Кусочно-линейная аппроксимация позволяет рассчитать значения KIT и за пределами интервала значений переменной P_q , полученных из данных эксплуатации.
6. Расчетное значение количества топлива $V_{com.n}$ (в натуральных единицах, например, для природного газа в метрах кубических), требуемого для производства электрической и тепловой энергии в зависимости от тепловой мощности P_q источника, определяется с использованием аппроксимирующей характеристики $KIT = f(P_q)$, причем значение электрической мощности $P_{e.p.}$ источника определяется расчетным образом по зависимости $P_{e.p.} = f(P_q)$, которая может быть представлена графически или в виде аналитической функции.
7. Добавленная стоимость ДС преобразования первичного топлива в энергию вычисляется как разность между выручкой от суммы продажи электрической $C_{e.l.}$ и тепловой $C_{q.l.}$ энергии за рассматриваемый интервал времени Δt ($C_{q+e.l.} = C_{q.l.} + C_{e.l.}$) и затрат закупки топлива $C_{com.}$, т.е. $ДС = C_{q+e.l.} - C_{com.}$. Расчет величин $C_{e.l.}$, $C_{q.l.}$ и $C_{com.}$ выполняется, используя действующие тарифы, утвержденные НАРЭ. При параметрическом анализе тарифы при расчете этих величин задаются исследователем.
8. Выполнение проверки расчетных значений показателей, характеризующих режим работы источников, рекомендуется осуществить методом сравнения с их точечными значениями полученных на основе обработки данных эксплуатации источников или системы централизованного теплоснабжения, которая представляется как “**черный ящик**”, входом в котором является топливо, а выходом - отпущенная потребителям электрическая и тепловая энергия в стоимостном выражении.
9. Для оценки эффективности работы источников генерации и/или централизованной системы теплоснабжения при принятых входных данных в зависимости от тепловой нагрузки в рассматриваемом периоде и для отдельных выделенных интервалов времени Δt используется критерий “**добавленная стоимость**” преобразования топлива в энергию.
10. Выполнение (при необходимости) параметрического анализа влияния различных факторов на изменение значения критерия “**добавленная стоимость**”, например, как следствие изменения тарифов на электрическую и тепловую энергию, стоимость первичного топлива на рынке или колебания курса национальной валюты.

IV. АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ИСТОЧНИКОВ ГЕНЕРАЦИИ В СИСТЕМЕ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

А. Показатели работы источников когенерации ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2

Применим предложенный алгоритм для анализа и оценки эффективности работы ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2 г. Кишинэу в период 2012-2016 годов. Данные о производственной деятельности приведены на web странице SA TERMoeLECTRICA [13], которые после упорядочения приведены в Приложение к данной работе. На рис. 1 представлены данные о производстве электрической и тепловой энергии ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2 за рассматриваемый период.

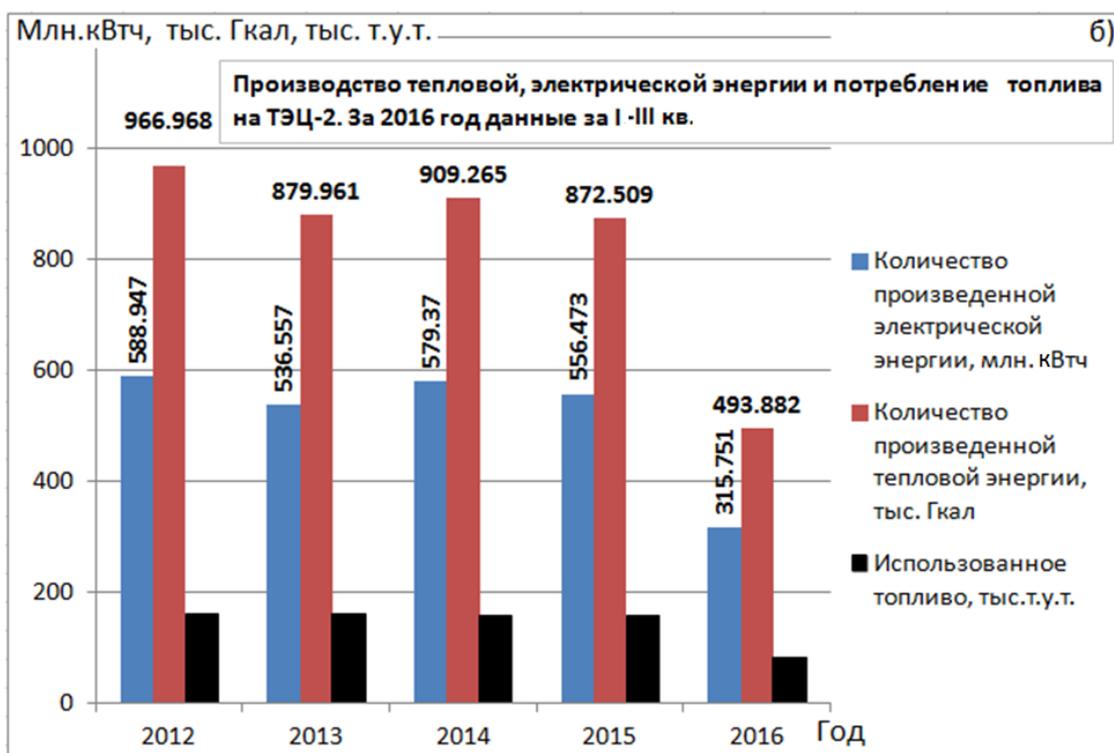
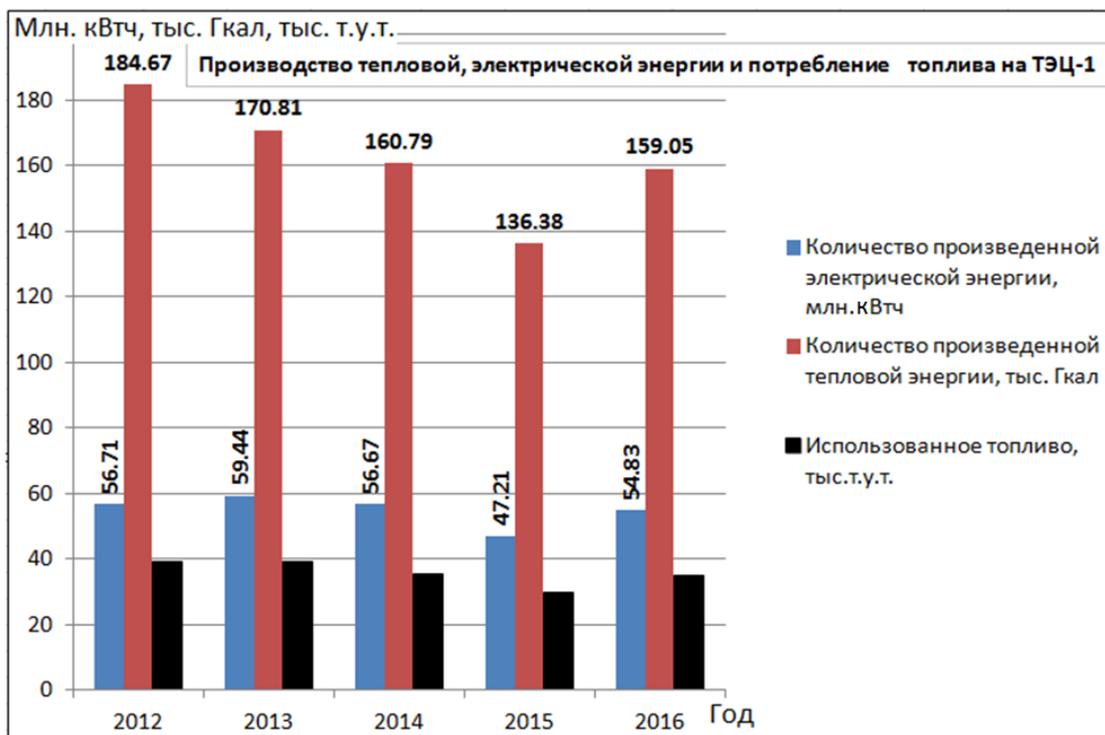


Рис.1. Производство электрической, тепловой энергии и потребление первичного топлива ТЭЦ-1(а) и ТЭЦ-2 (б) в 2012-2016 гг.

Рассмотрим также некоторые особенности производства энергии в течение года. На рис.2 приведены данные о ежеквартальном

производстве электрической и тепловой энергии и усредненные показатели по кварталам за рассматриваемый период.

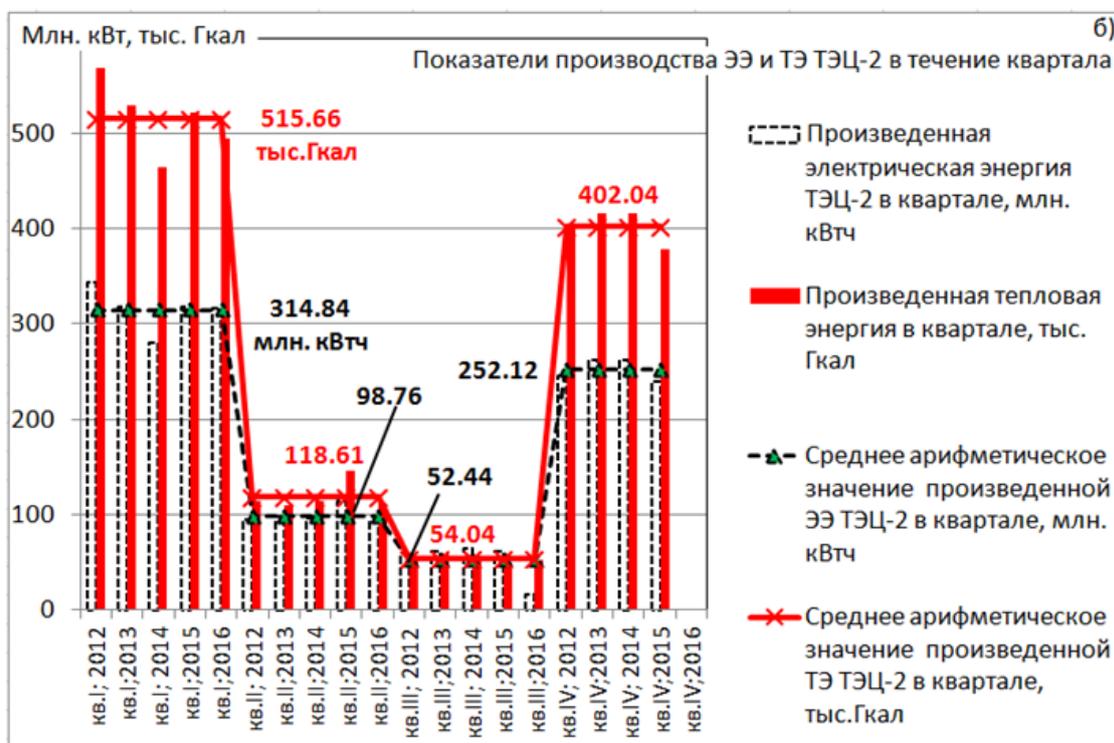
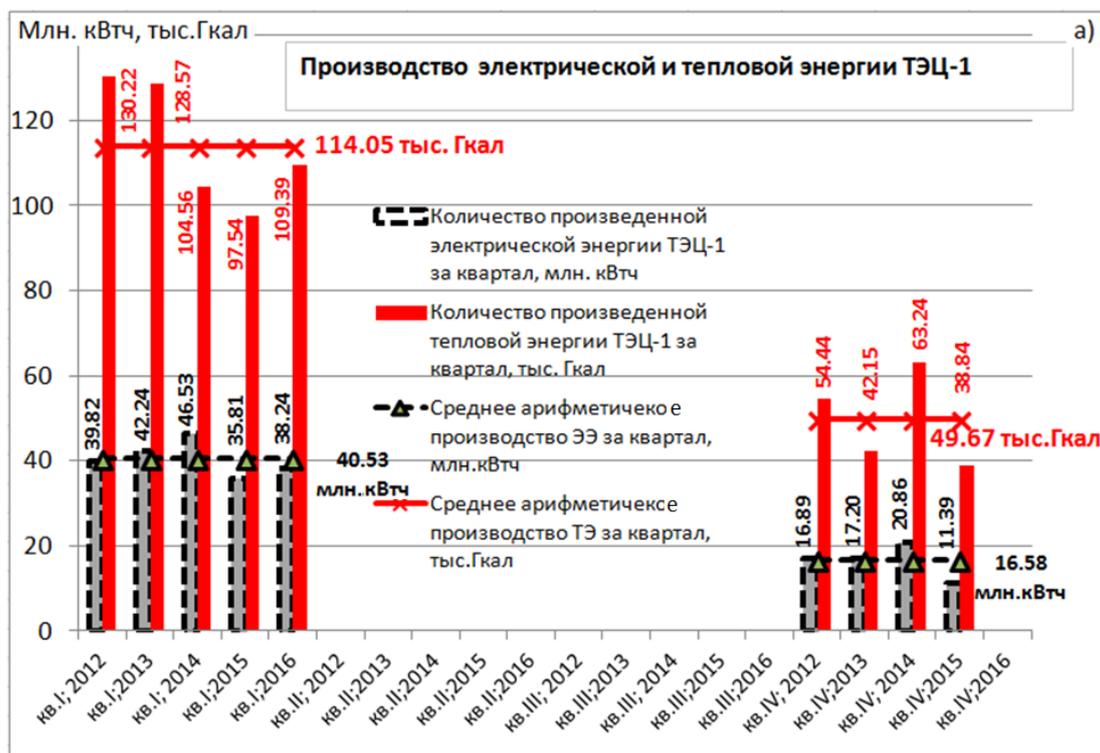


Рис. 2. Производство электрической, тепловой энергии ТЭЦ-1(а) и ТЭЦ (б) поквартально в 2012-2016 гг. и их усредненные значения.

За рассматриваемый период наблюдается снижение производства электрической и тепловой энергии как на ТЭЦ-1, так и на ТЭЦ-2. Поскольку 2016 год еще не завершен,

рассмотрим некоторые статистические параметры производства энергии при условии, что на данном этапе не учтем показатели IV кв. 2016 г.

Для оценки степени корректности предположения об объективности снижения производства энергии на основе имеющихся производственных показателей предположим, что их отклонения близки к нормальному закону распределения случайных величин. Для располагаемого объема данных такая гипотеза не совсем обоснована, но в первом приближении мы воспользуемся ею при оценке объективности тренда снижения производственных показателей источников когенерации. Для этого определим размах отклонений $\Delta X_{\max} = X_{\max} - X_{\min}$ наблюдаемых одноименных величин, рассчитаем средние арифметические значения $X_{\text{ср}}$ и выполним оценку среднеквадратичного отклонения (СКО) используя приближенное соотношение $\sigma = \Delta X_{\max} / 6$. Оценочные значения возможного максимального случайного отклонения рассмотренных величин вычислим по формуле $X_{\max} = X_{\text{ср}} \pm 3\sigma$. В табл. 1 приведены некоторые статистические показатели производства электрической и тепловой энергии и количества используемого топлива.

ТАБЛИЦА 1. СТАТИСТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРОИЗВОДСТВА ЭНЕРГИИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОПЛИВА НА ТЭЦ-1 И ТЭЦ-2

Параметр	ΔX_{\max}	$X_{\text{ср}}$	σ	X_{\max}	X_{\min}	
ТЭЦ-1	ЭЭ	12,2	55,0	2,04	61,1	48,9
	ТЭ	48,3	163,2	8,05	187,3	139,0
	Топливо	9,3	36,0	1,54	40,6	31,4
ТЭЦ-2	ЭЭ	77,5	708	12,9	746,7	669,2
	ТЭ	93,7	1074,1	15,6	1121	1027,3
	Топливо	33,5	315,9	5,58	332,6	299,2

Из табл. 1 следует, что тенденции снижения производства наблюдаются для ТЭЦ-1, поскольку все рассмотренные показатели 2015 года ниже значений, определенных как случайные отклонения.

В случае ТЭЦ-2 можно говорить о возможном тренде снижения производства энергии, поскольку объемы производства (прогнозные с учетом наработки за IV кв.

2016 г.) имеют значения, очень близкие к нижней границе X_{\min} .

В этом контексте представляется целесообразным определить удельный расход топлива на единицу произведенной энергии, долю стоимости топлива для единицы произведенной энергии, разность продаж энергии и затрат на покупку первичного топлива, которую мы назвали – добавленная стоимость (ДС) преобразования первичного топлива в энергию. Стоимость использованного топлива рассчитана исходя из тарифа 5000 леев/1000 м³ природного газа.

Можно оценить и долю постоянных затрат предприятия в стоимости производства одной единицы энергии, т.е. 1 кВтч. Для этого необходимо привести к одним единицам измерения электрическую и тепловую энергию, выработанную источником в режиме когенерации. Для этого можно воспользоваться данными предприятия АО «Термоэлектрика», представленными в НАРЭ в сентябре 2016 года. Эти данные были представлены SA TERMOELECTRICA для утверждения новых тарифов на электрическую и тепловую энергию [14]. В своих расчетах АО «Термоэлектрика» указала общий запланированный регламентированный доход на 2016 г. в объеме 2287,514 тысяч леев и стоимость покупки топлива 1799,102 тысяч леев. Исходя из этих цифр, следует, что постоянные затраты предприятия составляют 488,412 млн. леев, т.е. 27,15% от стоимости используемого топлива.

Топливо, используемое источниками когенерации, пересчитаем в кубические метры природного газа, используя теплотворную способность природного газа указанной АО Молдовагаз, т.е. равной 8050 ккал/м³. При этом условии 1 т.у.т. = 869,46 м³ природного газа. Затраты на топливо определяются просто, если знаем тариф на природный газ для источников когенерации.

Сведения, приведенные энергетическим предприятием, позволяют определять, как удельные расходы топлива на одну единицу произведенной энергии, так и долю топлива в себестоимости производства единицы энергии (рис. 3 и рис.4), а в таблице 2 средние производственные показатели за рассматриваемый период.

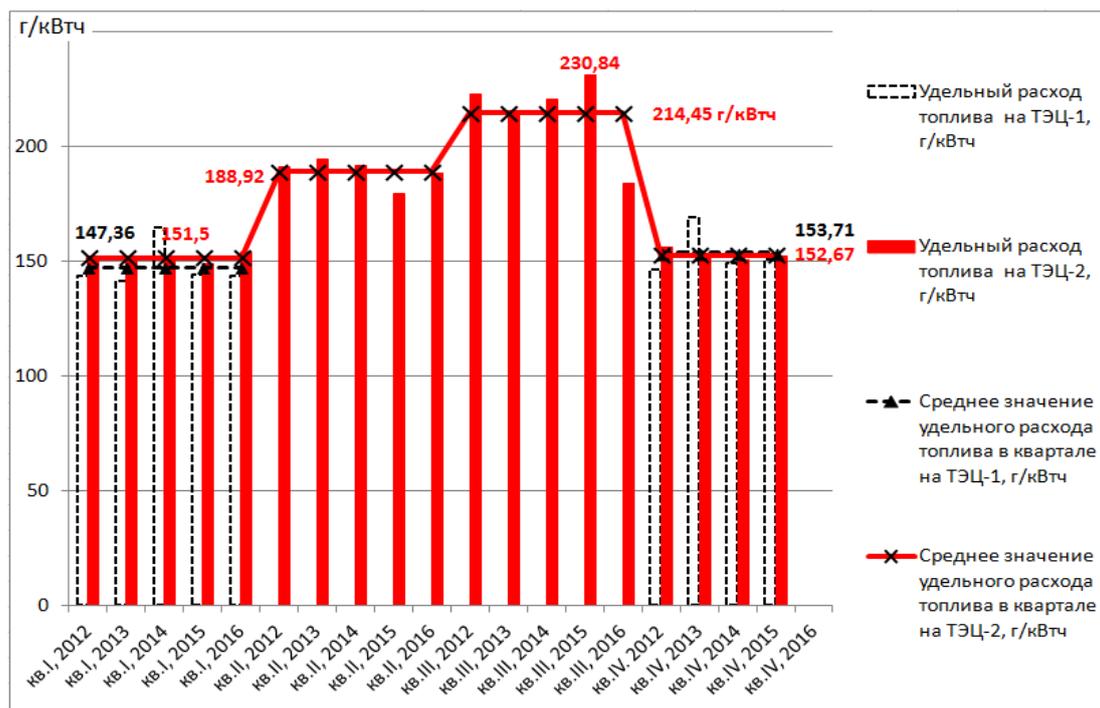


Рис. 3. Удельный расход топлива поквартально и усредненные их значения для ТЭС-1 (1) и ТЭС-2 (2)

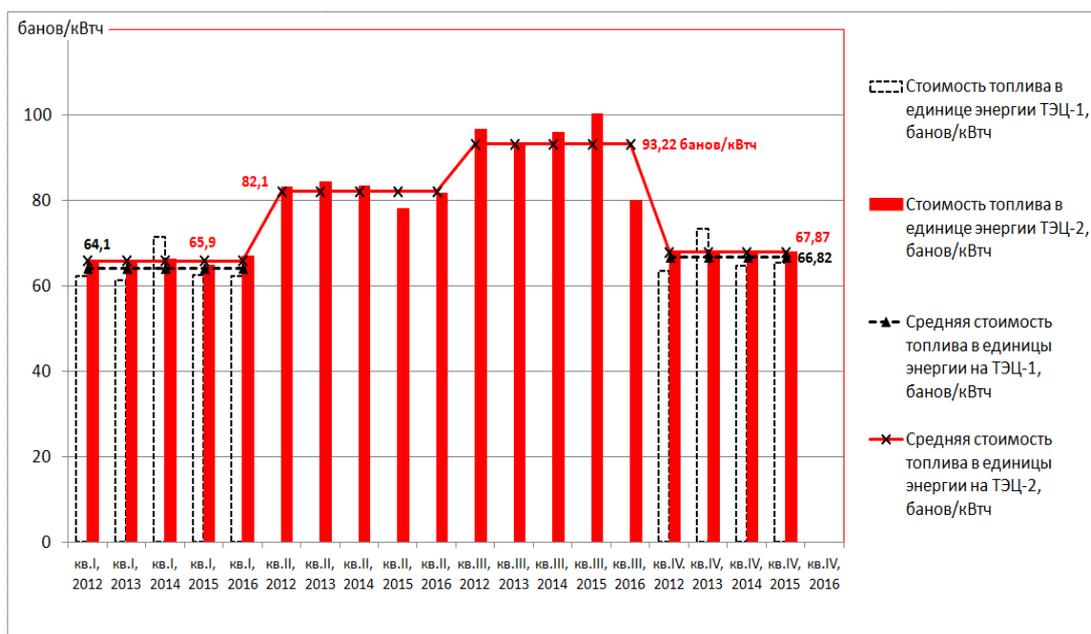


Рис.4. Доля стоимости первичного топлива в конечной стоимости производства энергии, среднее значение доли первичного топлива в стоимости энергии ТЭС-1 (1) и ТЭС-2 (2)

ТАБЛИЦА 2. УСРЕДНЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ ТЭС-1 И ТЭС-2 ЗА ПЕРИОД 2012-2016 гг. ПО ОТПУЩЕННОЙ ПОТРЕБИТЕЛЮ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ И ТЕПЛОЙ ЭНЕРГИИ

Источник	Отпущенная энергия	Единица измерения	кв. I	кв. II	кв. III	кв. IV
ТЭС-1	Электрическая	млн. кВтч	34,53	-	-	13,56
	Тепловая	тыс.Гкал	114,1	-	-	49,67
ТЭС-2	Электрическая	млн. кВтч	273,1	82,32	43,62	206,82
	Тепловая	тыс.Гкал	515,66	118,61	54,04	385,77

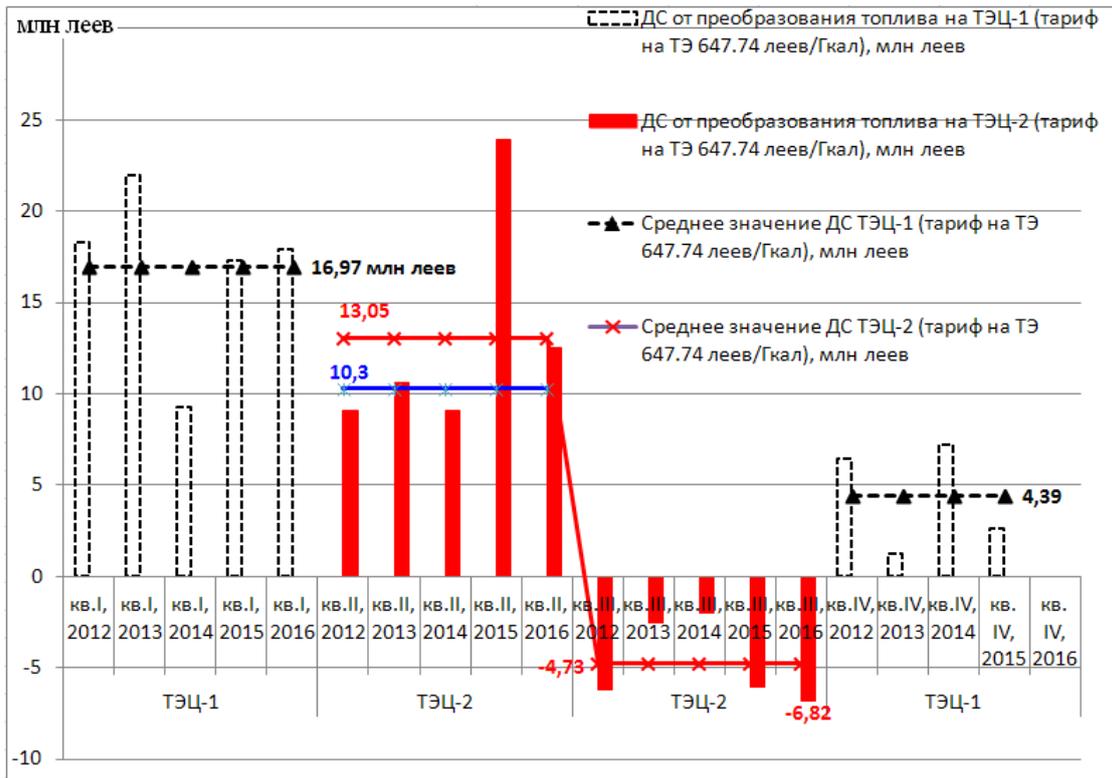


Рис.5. Добавленная стоимость преобразования топлива на ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2 при близких тепловых нагрузках и тарифе на производство тепловой энергии источниками 647,47 леев/Гкал

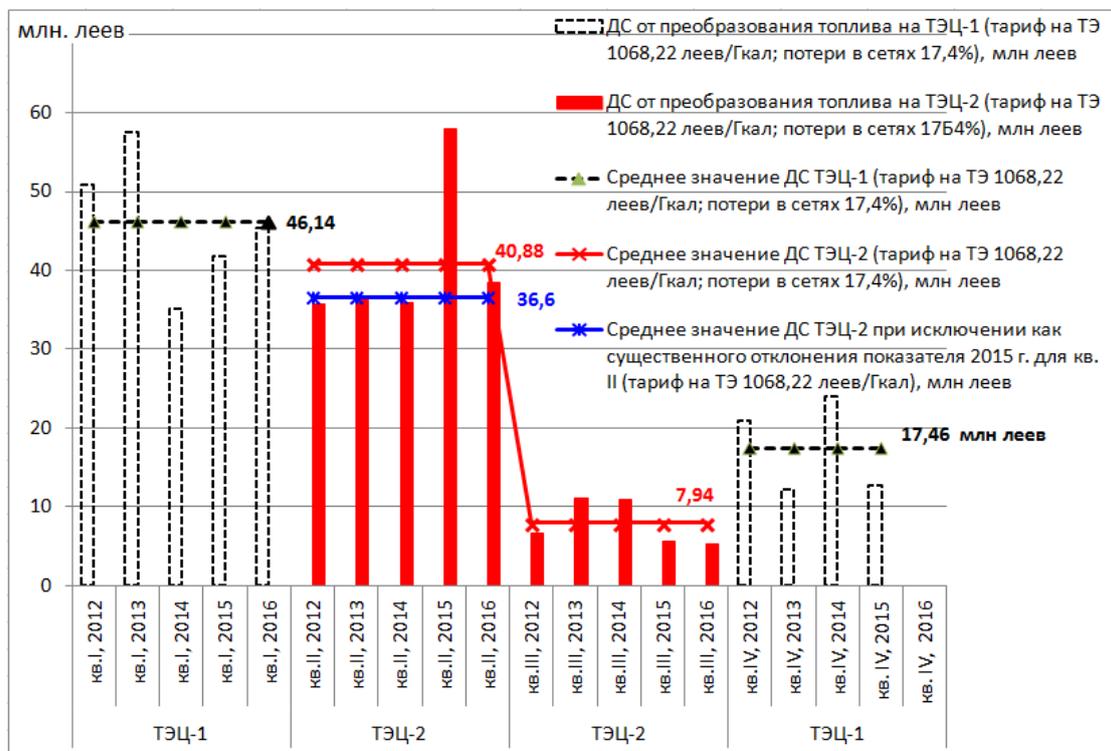


Рис.6. Добавленная стоимость преобразования топлива на ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2 при близких тепловых нагрузках и тарифе в 1068,22 леев/Гкал на отпуск конечному потребителю тепловой энергии. Потери тепловой энергии при транспорте и распределении приняты равными 17,4%

Б. Сопоставительный анализ экономических показателей работы ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2

При работе источников ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2 когенерации в холодное время года показатели по потреблению топлива и стоимости топлива на единицу произведенной энергии близки по значению. Отметим, что ТЭЦ-1 имеет тепловую нагрузку зимой (кв. IV - 114,1 тыс. Гкал и кв. I - 49,67 тыс. Гкал), очень близкую по значению к тепловой нагрузке ТЭЦ-2 в теплое время года (кв. III - 54,04 тыс. Гкал и кв. II - 118,61 тыс. Гкал). При близких значениях производства тепловой энергии источники очень существенно отличаются по отпуску электрической и тепловой энергии, в том числе и количество произведенной электрической энергии, соответственно (82,32 млн. кВтч/34,53 млн. кВтч)=2,38 раза и (43,8 млн. кВтч/13,56 млн. кВтч)=3,2 раза.

На первый взгляд, эти данные однозначно показывают на преимущество эксплуатации ТЭЦ-2 в теплое время года (кв. II и III), поскольку при равном отпуске тепловой энергии потребителям ТЭЦ-2 отпускает значительно большее количество электрической энергии. Является ли этот вывод корректным и неоспоримым при сопоставлении эффективности работы рассматриваемых источников когенерации, особенно для теплого периода года? Для ответа на этот вопрос рассмотрим экономические показатели работы ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2 при близкой тепловой нагрузке.

Сопоставление показателей удельного расхода топлива при близких значениях тепловой нагрузки ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2 (рис. 3) показывает, что в теплое время года расход топлива на ТЭЦ-2 больше чем на ТЭЦ-1: во втором квартале в 1,28 раза, а в третьем в 1,39 раза.

Сопоставление по значению стоимости использованного топлива при производстве одного кВтч энергии (рис. 4) также показывает, что ТЭЦ-2 при такой тепловой нагрузке, которую легко может нести ТЭЦ-1, имеет более высокую стоимость топливной составляющей в стоимости кВтч произведенной энергии, соответственно в 1,28 и 1,39 раза в сравнении с ТЭЦ-1.

В предположении, что технологические режимы системы централизованного теплоснабжения г. Кишинэу позволяют передать ТЭЦ-1 во втором и третьем

кварталах тепловую нагрузку ТЭЦ-2, можно оценить экономическую выгоду от оптимизации режима работы при действующих тарифах при производстве энергии и действующего тарифа на топливо. На рис. 5 и 6 приведены данные о превышении стоимости продажи ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2 электрической и тепловой энергии, которую мы назвали добавленной стоимостью преобразования первичного топлива в энергию, над затратами по покупке топлива. На рис. 5 данные соответствуют тарифу 647,74 леев/Гкал для тепловой энергии и тарифу 1,5814 леев/кВтч для электрической энергии и стоимости природного газа 5,0 леев/м³, а на рис. 6 приведены данные для случая отпуска тепловой энергии конечному потребителю при тарифе 1068,22 леев/Гкал, учитывая 17,4% потерь в тепловых сетях. Для тарифов на электрическую энергию и на использованное топливо сохранены прежние значения.

Работа ТЭЦ-2 в режиме источника в третьем квартале приводит к тому, что усредненное значение стоимости использованного топлива превысит на 4,73 млн. леев стоимость проданной тепловой и электрической энергии. Для этого же режима нагрузки у ТЭЦ-1 будет положительный баланс разности стоимости продаж энергии над затратами по покупке первичного топлива в среднем на 4,39 млн. леев. В итоге, выгода от генерации энергии в третьем квартале может быть оценена более чем в 9,0 млн. леев. Рассмотрение в таком же ключе работы ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2 во втором квартале показывает, что выгода от работы ТЭЦ-1 в летний период может составить от 3,9 до 6,7 млн. леев. Это показывает на то, что при оптимизации режимов работы источников (передача нагрузки ТЭЦ-1 во втором и третьем кварталах) потенциал улучшения экономических показателей генерирующих источников в системе централизованного отопления г. Кишинэу оценивается в 12,9-15,7 млн. леев в год.

При условии, что тепловая энергия реализуется конечному потребителю по цене 1068,22 леев/Гкал, экономический результат от рационального использования генерирующих источников во втором и третьем кварталах может составить 14,8-19,0 млн. леев.

ВЫВОДЫ

1. Предложен подход сопоставительного анализа эффективности источников когенерации систем централизованного теплоснабжения различной мощности по топливной составляющей.

2. Сопоставление по объемам производства электрической и тепловой энергии не позволяет сделать корректный вывод об экономической эффективности работы источников когенерации. Например, при близком значении тепловой нагрузки в теплое время года ТЭЦ-2 производит электрической энергии в 2,4-3,2 раза больше, чем ТЭЦ-1, но при этом экономические показатели ТЭЦ-1 выше, чем у ТЭЦ-2.

3. В теплое время года топливная составляющая для ТЭЦ-2 стоимости для единицы произведенной энергии составляет 0,82-0,93 леев/кВтч по сравнению с 0,64-0,66 леев/кВтч для ТЭЦ-1. Суммарный экономический эффект от оптимизации режимов работы источников когенерации в теплое время года может составить 13-19 млн. леев в год.

Библиография

- [1] Andriuscenko A.I. *Pocazateli effektivnosti slojnih sistem energosnabženia i vzaimosvazi meĵdu nimi*// Performance indicators of complex power systems and the relationship between them. Proceedings of the Fourth Russian scientific and technical conference "Energy saving in the urban economy, energy, industry", Ulyanovsk, 24-25 April 2003. <http://www.energsovet.ru/stst225.html>
- [2] Kuzevanov V.S., Sultanov M.M. K voprosu ob effektivnosti planirovania rejimov raboti oborudovania teplodih electriceskikh stantii//On the question of the effectiveness of planning modes of CHP equipment. Cyberleninka.ru. Scientific articles. Energetika.
- [3] Bezlikin V.P. Parogazovie I paroturbinie ustanovki electrostantii// Combined-cycle power plants and steam-turbine plant, St. Petersburg. Publisher SPbGTU, 1997.-295s.
- [4] Lege nr.92 din 29.05.2014 cu privire la energie termică și promovarea cogenerării. MO nr. 178-184 din 11.07.2014.
- [5] Directiva 2012/27/UE a Parlamentului European și a Consiliului din 25 octombrie 2012 privind eficiența energetic.
- [6] Zokolev I.B. Pokazateli energeticeskoi effektivnosti TEC// Indicators of energy efficiency CHP. www.manbw.ru/sites/default/files/pokazateli_energeti-heskoj_effektivnosti_tec.doc
- [7] Griega A.D., Griega S.A., Sultanov M.M., Kulanov V.A. Sravnenie metodov otenki raboti TEC pri sovместnom proizvodstve teplovoi i elektriceskoi energii// Comparison of methods for assessing the effectiveness of the CHP at the joint production of heat and electricity. Moscow Power Engineering Institute (branch), Volzhsky. Cyberleninka.ru. Scientific articles. Energetika.
- [8] Dunaevsky N.I. Tehniko-ekonomiceskie osnovi teplofikatii//Technical and economic bases of industrial heating // M.-L. : SEI, 1952. 257 p.
- [9] Haraim A.A., Ilici V.N. Gosudarstvennoe regulirovanie ieffektivnosti TEC//State regulation and the efficiency of thermal power stations.http://www.rosteplo.ru/tech_stat/stat_shablon.php?id=3096
- [10] Gavrilov V.K. Obobscionnoi kompleksnoe otenivanie effektivnosti funkcionirovania regionalnoi energosistemi , raboti generiruiuscih predpriatii I energoustanovok// Generalized comprehensive evaluation of the functioning of the regional power system operation and power generation companies. Abstract diss.na competition uch. stepeni. Candidate of Technical Sciences. Speciality 05.13.01 - System analysis, management and information processing (industry). Samara, 2009.-21p.
- [11] Suvorov D.M. Analiz razlicnih metodov raspredelenia zatrat tveploti topliva pri kombinirovannoi virabotki elektriceskoi I teplovoi energii//Analysis of various methods of distribution of heat fuel costs at the combined generation of electricity and thermal energy. Scientific researches and their practical application. Modern state and ways of development 'in 2012. <http://www.sworld.com.ua/index.php/ru/conferen ce/the-content-of-conferences/archives-of-individual-conferences/oct-2012>
- [12] Albu V., Drozdov S., Stepanova T., Tumanovsky V., Vinnichenko N. Analiz pokazatelei raboti teplovih electriceskikh stantii//Analysis of performance of thermal power stations. Information resources of Russia, 2013/2. – pp.2-6. www.aselibrary.ru/press_center/journal/irr/irr4925/.../irr4925494049414942/
- [13] http://www.termoelectrica.md/ro_RO/despre/indicatori-tehnicoeconomici/. Compartimentul: Indicatori- tehnicoeconomici.
- [14] Solicitarea S.A. „Termoelectrica” de ajustare a tarifelor la energia electrică și cea termică. <http://www.anre.md/ro/content/consult%C4%83ri-publice-0>

PROBLEMELE ENERGETICII REGIONALE 3 (32) 2016
ELECTROENERGETICA

Приложение

ТАБЛИЦА А.1. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ ИСТОЧНИКА 1 (ТЭЦ-2) В ПЕРИОДЕ 2012-2016гг. [13]

Показатели	Единица измерения	2012				2013				2014	
		кв. I	кв. II	кв. III	кв. IV	кв. I	кв. II	кв. III	кв. IV	кв. I	кв. II
Установленная электрическая мощность	МВт	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240
Располагаемая электрическая мощность	МВт	198	94	81	172	191	68	49	161	209	63
Установленная тепловая мощность	Гкал/ч	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200
Располагаемая тепловая мощность	Гкал/ч	487	359	336	434	462	352	348	479	504	352
Максимальная электрическая нагрузка	МВт	232	68	67	206	195	130	79	191	218	79
Максимальная тепловая нагрузка	Гкал/ч	378	88	71	335	307	117	60	295	364	74
Количество произведенной электрической энергии	млн. кВт	343.887	94.176	59.774	245.06	317.284	97.309	60.894	219.273	280.001	95.814
Количество отпущенной электрической энергии	млн. кВт	299.257	78.094	49.263	209.968	274.753	81.764	50.301	187.36	242.362	79.491
Количество отпущенной тепловой энергии с коллекторов	Гкал	568180	113662	54941	398788	529658	109146	58362	350303	464444	114465
КПД при производстве энергии	%	77.21	59.75	50.47	74.56	77.88	58.86	52.64	74.48	76.95	59.52
Использованное топливо	тыс. т. у. т.	152.749	43.253	27.541	110.291	140.501	43.559	27.576	98.089	124.912	43.883
Количество выбросов CO ₂ в атмосферу	тыс. тонн	247.435	70.041	44.617	178.671	227.612	70.568	44.67	158.9	202.36	71.09

ТАБЛИЦА А.1. Продолжение. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ ИСТОЧНИКА 1 (ТЭЦ-2) В ПЕРИОДЕ 2012-2016гг. [13]

Показатели	Единица измерения	2014		2015				2016			
		кв. III	кв. IV	кв. I	кв. II	кв. III	кв. IV	кв. I	кв. II	кв. III	кв. IV
Установленная электрическая мощность	МВт	240	240	240	240	240	240	240	240	240	240
Располагаемая электрическая мощность	МВт	49	157	207	65	49	159	209	54	49	
Установленная тепловая мощность	Гкал/ч	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200
Располагаемая тепловая мощность	Гкал/ч	348	479	504	352	360	479	504	352	360	
Максимальная электрическая нагрузка	МВт	46	228	228	145	68	195	214	63	46	
Максимальная тепловая нагрузка	Гкал/ч	55	326	319	224	44	281	318	78	42	
Количество произведенной электрической энергии	млн. кВт	64.402	262.109	317.261	113.467	61.638	239.212	315.751	93.034	15.518	
Количество отпущенной электрической энергии	млн. кВт	54.161	225.317	275.882	95.088	51.588	204.637	274.784	77.146	12.789	
Количество отпущенной тепловой энергии с коллекторов	Гкал	55456	415383	522139	145401	49637	378627	493882	110385	51792	
КПД при производстве энергии	%	51.27	74.83	82.47	68.4	53.22	78.61	79.79	65.34	66.76	
Использованное топливо	тыс. т. у. т.	28.429	116.294	137.717	50.75	27.554	106.196	137.046	41.628	13.938	
Количество выбросов CO ₂ в атмосферу	тыс. тонн	46.05	188.4	223.1	82.21	44.64	172.04	222	67	23	

PROBLEMELE ENERGETICII REGIONALE 3 (32) 2016
ELECTROENERGETICA

ТАБЛИЦА А.2. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ ИСТОЧНИКА 2 (ТЭЦ-1) В ПЕРИОДЕ 2012-2016гг. [13]

Показатели	Единица измерения	2012				2013				2014	
		кв. I	кв. II	кв. III	кв. IV	кв. I	кв. II	кв. III	кв. IV	кв. I	в. II I
Установленная электрическая мощность	МВт	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66
Располагаемая электрическая мощность	МВт	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66
Установленная тепловая мощность	Гкал/ч	239	239	239	239	239	239	239	239	239	239
Располагаемая тепловая мощность	Гкал/ч	239	239	239	239	239	239	239	239	239	239
Максимальная электрическая нагрузка	МВт	31.7	0	0	26.1	27.8	4.7	0	26.1	33.5	0
Максимальная тепловая нагрузка	Гкал/ч	91.3	0	0	61	78.9	25.2	0	61.8	72.8	0
Количество произведенной электрической энергии	млн. кВт	39.82	0	0	16.888	42.238	0.042	0	17.199	46.531	0
Количество отпущенной электрической энергии	млн. кВт	33.631	0	0	14.019	35.735	0.0352	0	14.292	39.117	0
Количество отпущенной тепловой энергии с коллекторов	Гкал	130218	0	0	54443	128573	227	0	42149	104558	0
КПД при производстве энергии	%	85.67	0	0	84.01	86.92	0	0	72.7	74.63	0
Использованное топливо	тыс. т.у.т.	27.424	0	0	11.727	27.103	0.015	0	11.189	27.676	0
Количество выбросов CO ₂ в атмосферу	тыс. тонн	44.43	0	0	199	43.91	0.02	0	18.13	44.84	0

ТАБЛИЦА А.2. Продолжение. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ ИСТОЧНИКА 2 (ТЭЦ-1) В ПЕРИОДЕ 2012-2016гг. [13]

Показатели	Единица измерения	2014		2015				2016			
		кв. III	кв. IV	кв. I	кв. II	кв. III	кв. IV	кв. I	кв. II	кв. III	кв. IV
Установленная электрическая мощность	МВт	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66
Располагаемая электрическая мощность	МВт	66	66	66	66	66	66	66	66	66	66
Установленная тепловая мощность	Гкал/ч	239	239	239	239	239	239	239	239	239	239
Располагаемая тепловая мощность	Гкал/ч	239	239	239	239	239	239	239	239	239	239
Максимальная электрическая нагрузка	МВт	0	26.6	27.1	0	0	26.7	27.4	0	0	
Максимальная тепловая нагрузка	Гкал/ч	0	72.4	70.7	0	0	71.4	73.6	0	0	
Количество произведенной электрической энергии	млн. кВт	0	20.856	35.809	0	0	11.391	38.24	0	0	
Количество отпущенной электрической энергии	млн. кВт	0	17.358	30.144	0	0	9.171	31.79	0	0	
Количество отпущенной тепловой энергии с коллекторов	Гкал	0	63235	97543.9	0	0	38839.7	109390.6	0	0	
КПД при производстве энергии	%	0	82.37	85.25	0	0	81.55	85.66	0	0	
Использованное топливо	тыс. т.у.т.	0	14.078	21.506	0	0	8.52	23.74	0	0	
Количество выбросов CO ₂ в атмосферу	тыс. тонн	0	22.81	34.84	0	0	13.8	38.5	0	0	

Сведения об авторах.



Берзан В.П. Доктор
хабилитат технических
наук, зам. Директора по
науке Института
энергетики АНМ.
Область научных
интересов: энергетика,
установившиеся и
переходные процессы в
электрических цепях,
математическое модели-
рование, диагностика
энергооборудования.
Автор более 350
научных публикаций, 30
патентов на изобретения,
в том числе 1
зарубежного патента, 12
монографий, 3 учебных
пособий. E-mail:
berzan@ie.asm.md



Быкова Е.В., вед. н.с.,
к.т.н.
Профессиональные ин-
тересы находятся в
области исследования и
анализа общих проблем
энергетики, методо-
логии расчета и
мониторинга индикаторов
энергетической
безопасности страны
(региона); в области
применения современ-
ных технологий про-
изводства электричес-
кой и тепловой энергии.
E-mail:
elena-bicova@mail.ru



Постолатий В.М.,
д.х.т.н., академик АН
Молдовы, заведующий
лабораторией управ-
ляемых электропередач
Института энергетики
АН Молдовы. Область
научных интересов:
энергетические системы,
управляемые линии
электропередач
переменного тока
повышенной пропускной
способности, проблемы
передачи энергии,
режимы энергетических
систем, переходные
электромеханические
процессы, электрические
станции,
теплоэнергетика,
экономика энергетика,
вопросы управления
энергетическим
комплексом, вопросы
энергоэффективности и
энергосбережения,
возобновляемой
энергетики
E-mail:
vpostolati@rambler.ru



Бабич В.М., инженер -
термоэнергетик.
Научный сотрудник
Института энергетики
АНМ.
Область научных инте-
ресов: производство
энергии в режиме коге-
нерации, транспорт и
распределение тепловой
энергии.