

Indicators System Creation For The Energy Efficiency Benchmarking Of Municipal Power System Facilities

Davydenko L.V.

*Lutsk National Technical University
Lutsk, Ukraine*

Abstract. The issues of the dataware of the comparative analysis procedure (benchmarking) for municipal power system facilities energy efficiency level estimation with a view of the hierarchical structure of the heat supply system are considered. The aim of the paper is the system of indicators formation for characterizing the efficiency of energy usage as on objects on lowest so on highest levels of power systems, proceeding from features of their functioning. Benchmarking methodology allows carrying out the estimation of energy efficiency level on the base of a plurality of parameters without their generalization in one indicator, but requires ensuring their comparability. Using the methodology of available statistical information that did not require deep specification and additional inspection structuring objectives and tasks of energy efficiency estimation problem has been proposed for ensuring the opportunity of benchmarking procedure implementation. This makes it possible to form the subset of indicators that ensure enough specification of the object of study, taking into account the degree of abstraction for every hierarchical level or sub problem. For a comparative analysis of energy using efficiency in municipal power systems at the highest levels of the hierarchy a plurality of indicators of the energy efficiency has been formed. Indicators have been determined with consideration of the structural elements of heat supply systems, but allowing taking into account the efficiency of the initial state of the objects, their functioning, and the questions of energy resources accounting organization. Usage of the proposed indicators provides implementation of energy using efficiency monitoring in the municipal power system and allows getting complete overview of the problem.

Keywords: benchmarking, municipal power system, energy efficiency, energy efficiency indicators.

Formarea sistemului indicatorilor pentru bencimarching de eficiență energetică a obiectelor energeticii municipale

Davidenco L.V.

*Universitatea Tehnică Națională din Luț
or.Luț, Ucraina*

Rezumat. Articolul examinează aspecte de asigurare informațională a problemei de estimare a nivelului de eficiența energetică a obiectelor energeticii municipale. Scopul acestui articol constituie în crearea unui sistem de indicatorii, care ar putea caracteriza eficiența de consum de energie la obiecte în două niveluri ai sistemului de încălzire: mai scăzute și mai ridicate, reieșind din particularitățile de funcționare acestora. Metodologie bencimarching permite evaluarea eficiența energetică pe baza unui set de parametri fără generalizarea lor într-un indicator, dar cere asigurarea comparabilitatea lor. În articolul se discută formarea de un set de indicatori comparabili pentru analiza comparativă a eficienței utilizării energiei în energetica municipală, luând în considerare structura ierarhică a sistemului de încălzire. Pentru asigurarea posibilității realizării procedurii bencimarchingului se propune utilizarea metodologie de structurizare a obiectivelor și sarcinilor ale problemelor de estimare a eficienței energetice, ce permite pentru fiecare nivelul ierarhic sau subproblema de-a forma subsetul propriu de indicatori, care asigură detalizare necesară a obiectului de studiu, ținând cont de gradul de abstracție. Pentru analiza comparativă a eficienței utilizării energiei în energetica municipală la nivelurile superioare ale ierarhiei, o multitudine de eficiență energetică, determinată cu referire la informațiile statistice care nu trebuie detalizare adâncă și inspecție suplimentară a elementelor sistemelor de încălzire, dar care permite lua în considerare eficiența inițială a obiectelor, funcționarea lor, organizarea evidenței resurselor energetice. Utilizarea indicatorilor propuși asigură realizarea monitorizării eficienței utilizării energiei în ramură.

Cuvinte-cheie: bencimarching, energetică municipală, eficiență energetică, indicii de eficiență energetică.

Формирование системы показателей для бенчмаркинга энергоэффективности объектов коммунальной энергетики

Давыденко Л.В.

*Луцкий национальный технический университет
г.Луцк, Украина*

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы информационного обеспечения процедур сравнительного анализа (бенчмаркинга) для оценивания уровня энергоэффективности объектов коммунальной энергетики с учетом иерархической структуры системы теплоснабжения. Целью статьи является формирование системы показателей, способных охарактеризовать эффективность энергоиспользования на объектах как низших, так и высших уровней системы теплоснабжения, исходя из особенностей их функционирования. Методология бенчмаркинга позволяет осуществить оценивание уровня энергоэффективности на основании множества параметров без их обобщения в один показатель, но требует обеспечения их сопоставимости. Для обеспечения возможности реализации процедуры бенчмаркинга предложено использовать методику структуризации целей и заданий проблемы оценивания уровня энергоэффективности, позволяющей для каждого иерархического уровня или подпроблемы формировать свое подмножество сопоставимых показателей, обеспечивающих достаточную детализацию объекта исследования с учетом степени абстрагирования. Для сравнительного анализа эффективности энергоиспользования в коммунальной энергетике на высших уровнях иерархии сформировано множество показателей энергоэффективности. Эти показатели определяются с учетом доступной статистической информации, не требующих глубокой детализации и дополнительного обследования структурных элементов систем теплоснабжения, но позволяющих учесть эффективность исходного состояния объектов и их функционирования, а также вопросы организации учета энергоресурсов. Использование предложенных показателей обеспечивает осуществление мониторинга эффективности энергоиспользования в отрасли и позволяет получить полное общее представление о проблеме.

Ключевые слова: бенчмаркинг, коммунальная энергетика, энергоэффективность, показатели энергоэффективности.

Введение

Энергоэффективность и энергосбережение являются одними из важнейших приоритетов социально-экономического развития в глобальном, национальном и региональном измерениях. Развитие процессов реформирования всех сторон жизни общества непосредственно связано с рациональным использованием топливно-энергетических ресурсов (ТЭР), то есть достижением максимальной эффективности их использования при существующем уровне развития техники и технологии, внедрением всестороннего учета и контроля за расходом энергии, применением энергосберегающих технологий. Энергоэффективность - одно из важнейших направлений в комплексе мер стимулирования экономического роста и укрепления конкурентных позиций национальной промышленности. Для Украины как энергоемкой страны энергоэффективность стала важнейшим ресурсом и гарантом формирования необходимого потенциала для дальнейшего развития государства.

Украина является энергодефицитной страной и импортирует около 70% природного газа от объемов собственного

потребления. В то же время, энергоемкость украинской экономики в три-четыре раза превышает соответствующие показатели экономически развитых стран, что делает Украину чрезвычайно чувствительной к условиям импорта природного газа [1].

Жилищно-коммунальное хозяйство (ЖКХ) - сложный комплекс отраслей, обеспечивающих функционирование общественного жилищного фонда, предоставляющим услуги населению, предприятиям и организациям по снабжению необходимыми ресурсами воды, газа, тепла и электроэнергии. Это энергоемкая отрасль. В ЖКХ потребляется около 30% общего потребления топлива в Украине - 70 млн. тонн условного топлива. Коммунальная теплоэнергетика - основной потребитель природного газа в коммунальной сфере. Расход топлива на выработку 1 Гкал тепла в коммунальной теплоэнергетике составляют 160-180 кг у. т. (в развитых странах -145-150 кг у. т.). Анализ потерь тепловой энергии и объемов потребления природного газа в системах централизованного теплоснабжения (по данным исследований рабочей группы Минжилкоммунхоза Украины) свидетельствует: наибольшие потери

природного газа связаны с бесполезно потраченной тепловой энергией у потребителя - до 30%, утраченной при транспортировке тепловой энергии - до 25%, при производстве на котельной - до 22%. Потери тепловой энергии составляют 13 млн. Гкал в год или 11% от объема отпущенной потребителям тепловой энергии. В пересчете на природный газ - более 2,1 млрд. куб. м. или 15% его общего потребления отраслью [2]. Современное состояние коммунальной энергетики характеризуется рядом проблем, главные из которых: непрерывный рост цен на природный газ, являющийся доминирующим видом топлива; значительный физический износ оборудования, прежде всего тепловых сетей, который приводит к наличию повышенных тепловых потерь; низкий уровень энергоэффективности оборудования и качества услуг теплоснабжения.

В 2008г. Международным энергетическим агентством (МЭА) был опубликован список из 25 рекомендаций правительствам касающихся политики повышения энергоэффективности в различных секторах. Эти рекомендации охватывают не все возможные меры, но создают основу для их упорядочения и для проведения межгосударственных сравнений в этой области. Согласно рекомендациям МЭА важно обеспечить в комплексе наблюдение, контроль, реализацию и оценку мероприятий по повышению уровня энергоэффективности. Рекомендаций МЭА по реализации политики в сфере повышения энергоэффективности разделяются на группы и касательно ЖКХ - это повышение энергетической эффективности конечного потребления энергии в сфере коммунальных услуг [1].

Постановка задачи исследования

Вопросами оценки энергоэффективности наиболее успешно занимается Международное энергетическое агентство в рамках Организации экономического сотрудничества и развития для выполнения международной энергетической программы. Согласно мнению ученых-экспертов данной организации оценка энергоэффективности принимает различные формы, имеет разные назначения и области применения. Однако не вопросам формирования показателей, пригодных для сравнительного анализа энергоэффективности объектов

существует идеального и общепризнанного метода, применимого ко всем случаям [3].

Одной из актуальных проблем для Украины является повышение уровня энергоэффективности с помощью применения новых методов и подходов к его оценке и, как следствие, снижение энергозатрат в промышленности и жилищно-коммунальном хозяйстве.

За рубежом широкое распространение получила концепция бенчмаркинга энергоэффективности, заключающаяся в распространении передового опыта и лучших достижений в этой сфере как в промышленности, так и для предприятий с различными видами деятельности и любой формы собственности. Страны Евросоюза ввели специальные стандарты проведения бенчмаркинга, в частности, EN 16001 «Energy efficiency benchmarking methodology» [4].

Имеется немалое количество публикаций как зарубежных так и украинских, посвященных бенчмаркинговым исследованиям [4-10] в разных сферах хозяйствования [5,6,8-10], в том числе и в сфере ЖКХ [7].

Во многих работах рассматриваются аспекты использования бенчмаркинговых процедур в инфраструктурных отраслях [6], для городов и регионов [7], вопросы методологии бенчмаркинга энергоэффективности [4,8], принципы построения рейтингов объектов исследования с учетом некоторого индекса эффективности использования ТЭР и энергии [5,9,10]. Однако для повышения уровня энергоэффективности в украинской промышленности важно создать систему сопоставления параметров энергоэффективности («бенчмаркинга») для предприятий различных отраслей [1] с помощью которой предприятия смогут сравнивать свои показатели эффективности энергопотребления со средними по отрасли, а также с «идеальными» показателями лучших мировых технологий, в том числе и в сфере ЖКХ.

Несмотря на большое количество публикаций, посвященных проблеме оценки эффективности использования ТЭР и энергии в разных отраслях [3,9,11],

коммунальной энергетики, а также учитывающих особенности функционирования системы теплоснабжения

и общегосударственные задачи в сфере повышения уровня эффективности энергоиспользования, уделено недостаточно внимания.

Исходя из выше сказанного, **целью статьи** является создание информационного обеспечения процедур сравнительного анализа (бенчмаркинга) энергоэффективности в сфере коммунальной энергетики путем формирования множества показателей энергоэффективности, пригодных для их сопоставления и способных охарактеризовать уровень эффективности энергоиспользования объектов как низших, так и высших уровней системы теплоснабжения с учетом особенностей их функционирования.

Основные материалы и результаты исследования

Организация рационального энергопотребления с минимальным экологическим воздействием в условиях экономного использования первичных энергоресурсов и достаточного обеспечения технологических и бытовых нужд - общая забота человечества. Поэтому, основным направлением энергетической политики почти во всех странах мира на сегодняшний день является политика энергосбережения, которая предполагает не только сохранение энергии, но и обеспечение условий для максимально эффективного ее использования и, по сути, объединяет все направления решения энергетических проблем. Одной из важных составляющих управления энергосбережением и повышения энергоэффективности общественного хозяйства является осуществление систематического контроля уровня эффективности использования топлива и энергии, начиная от отдельных установок или технологических процессов и заканчивая отраслевым, региональным и государственным уровнями.

В настоящее время для оценки реального энергосбережения на объектах существует ряд различных по характеру методов, инструментов и практик. Широкое распространение получила концепция бенчмаркинга энергоэффективности. В общем смысле бенчмаркинг (англ. Benchmarking) - это процесс адаптации имеющихся примеров эффективного функционирования компании, в той или иной

сфере, с целью улучшения собственной работы. Бенчмаркинг в равной степени включает два процесса: оценку и сопоставление. Цель бенчмаркинга состоит в том, чтобы на основании исследований установить потребность в изменениях и путь достижения успеха в результате этих изменений. Бенчмаркинг обеспечивает более детализированное и упорядоченное управление, чем применение только методов анализа; он предусматривает сравнительный анализ информационного поля объектов исследования и выявление их сильных и слабых сторон [8]. Бенчмаркинг позволяет найти стратегии и практики, которые помогли какому-то объекту, предприятию, региону достичь определенных результатов в повышении эффективности, то есть позволяет учиться на практике у других, кто уже достиг актуальных изменений.

Измерение эффективности функционирования хозяйственных субъектов и эффективности энергопотребления, сравнительный анализ результатов по группе сходных по специализации объектов в поиске наиболее эффективных практик организации производства (the best practice) осуществляется как на микро-, так и макроуровне. На микроуровне преследуются цели оценки рейтинга объекта или поиска объекта-ориентира носителя лучших практик организации производства и совершенствование на этой основе своей деятельности [12]. На макроуровне, в частности с позиции регулирующих органов, производящих меры по стимулированию развития отраслей и совершенствованию государственной политики, важным является мониторинг общей ситуации в отрасли.

Энергоэффективность - это достижение экономически оправданной эффективности использования ТЭР при существующем уровне развития техники и технологии и соблюдении требований к охране окружающей среды. То есть, энергоэффективность любой производственной системы как ее синтетическая характеристика является признаком, который характеризует способность объекта исследования эффективно функционировать в определенных условиях и требует рационального энергоиспользования.

Следует отметить, что энергоэффективность как признак,

отражающий потенциальное свойство объекта оценивания, относится к числу характеристик, которые непосредственно не наблюдаются и не измеряются, то есть являются скрытыми, латентными. Общее представление о степени появления анализируемого латентного свойства формируется как результат суммирования определенных частных характеристик, влияющих на это свойство. Таким образом, определение уровня энергоэффективности производственной системы и ее объектов возможно лишь на основании наблюдения некоторой совокупности наблюдаемых либо измеряемых признаков, каждый из которых отражает определенные аспекты эффективности энергопотребления как с точки зрения эффективности исходного состояния объекта, так и эффективности функционирования. Следовательно, первой и одной из главных в рамках проблемы оценки энергоэффективности является задача формирования системы показателей эффективности энергопотребления, способных в совокупности дать достаточно полное представление об измеряемом латентном признаке - энергоэффективности объектов.

Для большинства украинских предприятий основным индикатором энергоэффективности есть энергоемкость – это отношение энергоресурсов, фактически затраченных на производство продукции (услуг), к количеству произведенной продукции в принятых единицах измерения. Однако определение данного показателя как результирующего явно недостаточно для полной оценки энергоэффективности, поскольку каждая отрасль, каждое предприятие обладает специфическими особенностями [3].

Для объективной оценки энергоэффективности необходимо использовать соответствующее множество количественных показателей. Такие показатели должны отражать полезный расход и потери всех видов энергии, используемых при осуществлении производственных процессов и в процессе передачи и распределения энергии. Показатели эффективности использования ТЭР позволяют сравнить в пространстве и времени уровень эффективности их использования в агрегатах, установках, технологических процессах, предприятиях,

регионах, в отрасли в целом. Наличие таких показателей дает возможность сопоставлять их с аналогичными величинами, достигнутыми на подобных отечественных или зарубежных предприятиях, и анализировать текущую эффективность энергопотребления [11]. Даже такое сравнение в первом приближении позволяет делать выводы о том, рационально или нерационально используется энергия на объекте исследования, а также сделать предварительный вывод о возможности и целесообразности решения задач энергосбережения.

Следует отметить, что энергоэффективность - комплексная категория, для оценки которой сложно рассчитать обобщенный показатель. Бенчмаркинг обеспечивает анализ эффективности производства на основании выявленных эталонных показателей без необходимости их обобщения.

На начальных этапах бенчмаркинга главной задачей исследователя становится выявление тех критериев работы отрасли (производственной системы, предприятия), которые могут выступать в роли показателей уровня энергоэффективности и на основании которых возможно формирование эталона энергоэффективности. Наличие перечня показателей энергоэффективности и определение их эталонных значений обеспечивает возможность выявления лучшей практики для проведения дальнейшего сравнительного анализа.

Бенчмаркинг энергоэффективности жестко связан с энергоменеджментом, энергоаудитом и методами оценки уровня энергоэффективности [8]. Наличие соответствующих показателей должно позволить контролировать уровень энергетической эффективности на каждой из стадий процесса энергоснабжения-энергопотребления. Система информационно-методического обеспечения задач оценивания уровня энергоэффективности с целью его повышения является совокупностью различных видов первичной информации и методик для получения вторичной информации, необходимой для решения поставленных задач.

Коммунальная энергетика представляет собой сложный комплекс, состоящий из множества элементов, характеризующихся определенными исходными условиями,

находящихся на разных иерархических уровнях и имеющих свои особенности функционирования. В целом, это сложная многоуровневая иерархическая система, состоящая из множества объектов (отдельных технологических единиц, их групп, структурных объектов, предприятий теплоснабжения, систем теплоснабжения населенных пунктов и т.д.), являющаяся одновременно целостным объектом.

В общем случае, каждый субъект предметной области (котел, котельная, тепловая сеть, иерархический уровень системы теплоснабжения населенного пункта) должен быть представлен в виде совокупности (кортежа) [13]:

$$Sub \equiv_{def} \langle name, St, Fn \rangle, \quad (1)$$

где *name* - название субъекта предметной области; *St* - множество показателей исходного состояния; *Fn* - множество показателей функционирования.

Каждый из показателей энергоэффективности имеет факторную принадлежность, то есть они образуют следующие факторы: климатические, технические, технологические, энергетические. Это позволяет представить совокупности и в виде кортежа соответствующих факторов:

$$St = \langle Cl, Thn, Thl, Pw \rangle; \quad (2)$$

$$Fn = \langle Thn, Thl, Pw, Op \rangle, \quad (3)$$

где *Cl* - множество показателей *P*, свойственных для определенного субъекта предметной области, создающих климатический фактор; аналогично *Thn* - технический; *Thl* - технологический; *Pw* - энергетический; *Op* - эксплуатационный фактор:

$$Cl = \{P_{cl1}, P_{cl2}, \dots, P_{clm}\};$$

$$Thn = \{P_{thn1}, P_{thn2}, \dots, P_{thn^n}\}; \quad (4)$$

многочисленные особенности объекта. Один из путей решения этой проблемы - задание системы семейством характеристик, описывающих ее поведение с позиции соответствующего уровня абстрагирования.

$$Thl = \{P_{thl1}, P_{thl2}, \dots, P_{thlg}\};$$

$$Pw = \{P_{pw1}, P_{pw2}, \dots, P_{pwj}\};$$

$$Op = \{P_{op1}, P_{op2}, \dots, P_{opq}\}.$$

Каждый из показателей *P* описан кортежем:

$$P = \langle name, \{value\} \rangle, \quad (5)$$

где *name* - название; $\{value\}$ - область значений.

Формирование множества показателей энергоэффективности для сравнительной оценки объектов низшего уровня требует подробного учета их технических характеристик и особенностей функционирования, начиная от паспортных данных агрегатов, соответствия проектных решений фактическим условиям их работы, эффективности организации режима энергоиспользования и, заканчивая мероприятиями по экономии топлива и эффективностью их реализации. Подробное описание показателей энергоэффективности котлов и котельных выполнено автором в [14].

Однако уже на уровне предприятия, обеспечивающего теплоснабжение населенного пункта областного значения, одновременный учет такого количества исходных показателей может существенно усложнить не только процедуру бенчмаркинг-исследования, но и понимание его результатов. Еще более затруднителен учет такого количества показателей низшего уровня будет при оценивании эффективности использования ТЭР и энергии на областном (региональном) уровне, поскольку получение такого объема информации, а также ее одновременное упорядочивание может быть проблематичным.

Основная проблема при отображении сложных систем заключается в отыскании компромисса между простотой описания, позволяющей получить целостное представление об объекте, и детализацией описания, позволяющей отразить. Для каждого уровня существуют характерные особенности, законы и принципы, с помощью которых описывается поведение системы. Такое представление называют стратифицированными, а уровни

абстрагирования - стратами. [15]. Страта характеризует уровень абстрагирования (описания) свойств реального объекта. Стратифицированное представление используют для последовательного углубления представления о системе, ее детализации [16]: чем ниже опускаемся по иерархии страт, тем более подробным становится описание системы.

Проблему сравнительной оценки уровня энергоэффективности объектов коммунальной энергетике следует рассматривать как состоящую из подпроблем разных рангов: оценки уровня энергоэффективности отдельных предприятий, составляющих систему теплоснабжения города; отдельных структурных элементов (котельных) и агрегатов; оценки эффективности управления и организации технологического процесса как в целом по предприятию либо населенному пункту, так и для отдельных элементов. Факт, что решение проблемы оценки уровня энергоэффективности направлено на стабилизацию функционирования и усовершенствования системы, с иерархической структурой, обуславливает иерархичность и самой проблемы. Каждая проблема представляет собой совокупность подпроблем, и в то же время может рассматриваться как часть более сложной проблемы. При реализации задачи оценки уровня энергоэффективности коммунальной энергетике сложно построить иерархическую структуру в виде единого «дерева», связывающего задачу оценки уровня энергоэффективности всей отрасли с оценкой энергоэффективности предприятий и их структурных элементов с точки зрения охвата всех аспектов проблемы. Поэтому, целесообразно воспользоваться методикой структуризации целей [16]. Иными словами,

для каждого уровня задачи оценивания энергоэффективности существуют свои цели и задания (обязательно подчиненные единой высшей цели), своя структура подпроблем, а значит и некоторое множество показателей энергоэффективности, которые обеспечивают достаточную степень детализации для данного уровня (рис 1).

Формирование множества показателей энергоэффективности необходимо осуществлять, учитывая особенности функционирования системы теплоснабжения, а также цели и соответствующие задания в сфере теплоснабжения, прописанных в «Дорожной карте» реализации Энергетической стратегии Украины на период до 2035 года [17]:

- снижение удельных расходов на единицу произведенной продукции (услуги);
- снижение уровня потерь энергоресурсов в снабжающих сетях;
- повышение эффективности конечного энергопотребления;
- завершение процесса установки измерительных приборов по всей системе теплоснабжения и обеспечение приборного учета по всей цепи «производства – снабжения – потребления (включая домохозяйства)».

Очевидно, что энергетическая эффективность системы теплоснабжения населенного пункта определяется эффективностью использования ТЭР для производства тепловой энергии и эффективностью использования электроэнергии для транспортировки теплоносителя.

Кроме того, учитывая упомянутые проблемы в коммунальной энергетике обусловленные физическим износом технологического оборудования и сетей, необходимо охарактеризовать степень такого износа.

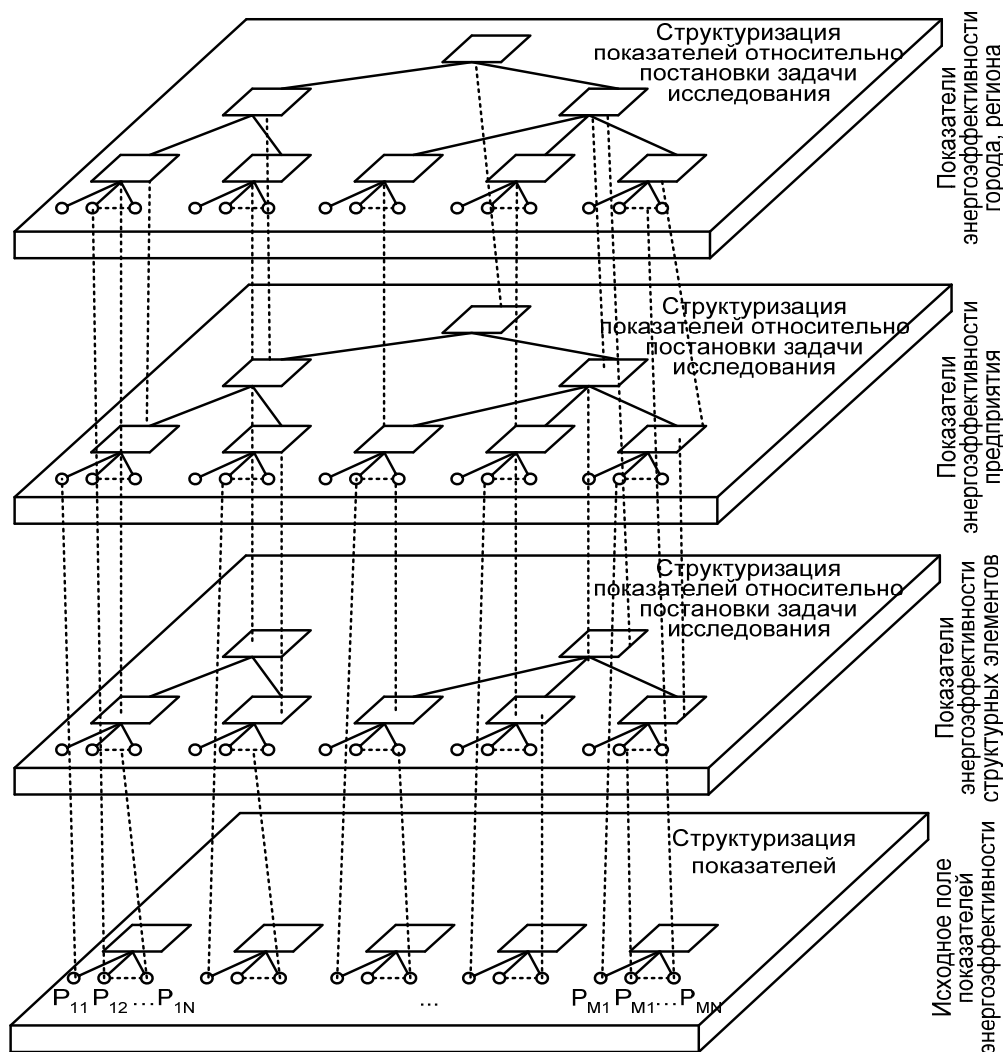


Рис. 1. Структуризация задачи сравнительного оценивания энергоэффективности объектов коммунальной энергетики

Сравнительный анализ эффективности использования ТЭР в коммунальной энергетике должен предусматривать учет показателей, характеризующих:

- эффективность использования топлива в тепловых источниках;
- эффективность использования электрической энергии на транспортировку теплоносителя и на собственные нужды теплового источника;
- тепловые потери в трубах тепловых сетей;
- эффективность использования тепловой энергии в зданиях;
- степень износа оборудования и сетей.

Также, учитывая требования относительно обеспечения всестороннего приборного учета в сфере теплоснабжения, который также способствует повышению степени достоверности анализируемых данных, в

число показателей энергоэффективности необходимо включить показатель уровня оснащённости объектов системы теплоснабжения приборами учета потребления ТЭР (топливо, электроэнергия, тепловая энергия).

Исходя из выше изложенного, для оценивания энергоэффективности объектов коммунальной энергетики на высших уровнях с целью мониторинга ситуации в отрасли целесообразно воспользоваться упрощенным множеством показателей энергоэффективности, не требующих глубокой детализации и дополнительного обследования структурных элементов системы теплоснабжения, а также определяемых с учетом доступной статистической информации. Такое множество может включать:

а) показатели, характеризующие исходное состояние объектов коммунальной энергетики:

- коэффициент износа котлоагрегатов (энергоустановок):

$$K_{izn.k} = \frac{N_{20}}{N}, \quad (6)$$

где N_{20} – количество котлов (энергоустановок), срок эксплуатации которых превышает 20 лет, ед.; N – общее количество установленных котлов (энергоустановок), ед.;

- коэффициент износа сетей:

$$K_{izn.s} = \frac{L_{avar}}{L}, \quad (7)$$

где L_{avar} – протяженность ветхих и аварийных тепловых и паровых сетей, км; L – общая протяженность тепловых и паровых сетей в двухтрубном исполнении, км;

б) показатели, характеризующие эффективность функционирования объектов коммунальной энергетики:

- фактическое удельное потребления топлива (удельные затраты топлива при производстве тепла котельными), кг.у.т./Гкал:

$$b^{fact} = \frac{B^{fact}}{Q^{proizv}}, \quad (8)$$

где B^{fact} – фактический расход топлива, кг у.т.; Q^{proizv} – общее количество тепловой энергии, произведенной за год, Гкал;

- удельное потребление электроэнергии:

$$w^{fact} = \frac{W^{fact}}{Q^{proizv}}, \quad (9)$$

где W^{fact} – фактическое потребление электроэнергии, кг у.т. (или кВт*ч);

- коэффициент расхода тепловой энергии на собственные нужды котельных (либо доля собственных нужд, %):

$$K_{s.n.} = \frac{Q_{s.n.}}{Q^{proizv}}, \quad (10)$$

где $Q_{s.n.}$ – расход тепловой энергии на собственные нужды котельных, Гкал;

- коэффициент потерь тепловой энергии в тепловых сетях (или доля потерь в теплосетях, %):

$$K_{pot.} = \frac{Q_{pot.}}{Q^{proizv}}, \quad (11)$$

где $Q_{pot.}$ – потери тепловой энергии, Гкал;

в) показатели эффективности использования тепловой энергии на отопление зданий:

- удельные затраты тепловой энергии на отопление жилищного фонда:

$$q_{jil} = \frac{Q_{nasel}^{otp}}{F_{jil}}, \quad (12)$$

где Q_{nasel}^{otp} – фактическое количество тепловой энергии, отпущенной населению, Гкал (или кВтч); F_{jil} – общая площадь жилищного фонда, оснащенная централизованным отоплением, м²;

- удельные затраты тепловой энергии на отопление жилищного фонда, оснащенного приборами учета:

$$q_{jil.osnasch.uch} = \frac{Q_{uch}^{fact}}{F_{jil.osnasch.uch}}, \quad (13)$$

где Q_{uch}^{fact} – фактическое количество тепловой энергии, полученной из сети централизованного теплоснабжения, зафиксированное приборами учета, Гкал (или кВтч); $F_{jil.osnasch.uch}$ – общая площадь зданий жилищного фонда, оснащенных приборами учета тепловой энергии, м²;

- удельные затраты тепловой энергии на отопление общественных зданий:

$$q_{obsch} = \frac{Q_{obsch}^{otp}}{F_{obsch}}, \quad (14)$$

где Q_{obsch}^{otp} - фактическое количество тепловой энергии, отпущенной на нужды отопления общественных и бюджетных организаций, Гкал (или кВтч); F_{obsch} - общая площадь общественных зданий, подключенных к системе централизованного теплоснабжения, м²;

г) показатели уровня оснащенности системы теплоснабжения приборами учета:

- коэффициент оснащенности приборами учета тепловой энергии жилищного фонда:

$$K_{osnasch.uch.jil} = \frac{N_{jil.cent.uch}}{N_{jil.centr}}, \quad (15)$$

$N_{jil.centr}$ - общее количество домов жилищного фонда с централизованным теплоснабжением, ед.; $N_{jil.cent.uch}$ - количество домов с централизованным теплоснабжением, оснащенных приборами учета, ед.

$K_{osnasch.ych.obsch}$ - коэффициент оснащенности приборами учета тепловой энергии общественных зданий:

$$K_{osnasch.ych.obsch} = \frac{N_{obsch.cent.uch}}{N_{obsch.centr}}, \quad (16)$$

где $N_{obsch.centr}$ - общее количество общественных зданий с централизованным теплоснабжением, ед.; $N_{obsch.cent.uch}$ - количество общественных зданий с централизованным теплоснабжением, оснащенных приборами учета тепловой энергии, ед.

- коэффициент использования приборов учета для расчетов за услугу теплоснабжения:

$$K_{osnasch.uch} = \frac{N_{pr.uch/rasch}}{N_{pr.uch}}, \quad (17)$$

где $N_{pr.uch}$ - общее количество установленных приборов учета тепловой энергии, ед.; $N_{pr.uch/rasch}$ - количество установленных приборов учета тепловой

энергии, по которых производится расчет за услугу теплоснабжения, ед.

Следует отметить, что в современных условиях удорожания энергоресурсов, а, соответственно, и услуг теплоснабжения, и стремления сэкономить на их оплате, не редки случаи непостоянного теплоснабжения объектов (только в рабочие часы или по графику), а иногда временное отключение от системы теплоснабжения при благоприятных погодных условиях. Естественно, что в таких случаях нарушается температурный режим теплоснабжения непосредственно в помещениях и условия комфортного пребывания в них. А показатели эффективности использования тепловой энергии на отопление зданий не будут отображать реальной картины эффективности энергоиспользования как с позиций организации режима теплоснабжения, так и с точки зрения энергоэффективности самих зданий. В таких случаях, с целью достоверного описания эффективности использования тепловой энергии на отопление зданий необходимо качество учитывать теплоснабжения. Причем, необходимо рассматривать как соответствие теплоносителя необходимым требованиям (то есть со стороны системы централизованного теплоснабжения), так и комфортность температурного режима в помещениях зданий, подключенных к системе теплоснабжения, что является трудоемким процессом, требующим учета дополнительных показателей и соответствующих методик их определения.

Учитывая мировую тенденцию к замещению ископаемых видов топлива альтернативными возобновляемыми источниками, необходимо предусмотреть показатели энергоэффективности, характеризующие эту сторону вопроса, например:

- доля котлоагрегатов (энергоустановок), работающих на возобновляемых видах топлива:

$$K_{vozobn} = \frac{N_{vozobn}}{N}, \quad (18)$$

где N_{vozobn} - количество котлоагрегатов (энергоустановок), работающих на возобновляемых видах топлива, ед.;

- фактическое удельное потребления возобновляемых видов топлива, кг.у.т./Гкал:

$$b_{vozobn}^{fact} = \frac{B_{vozobn}^{fact}}{Q_{vozobn}^{proizv}}, \quad (19)$$

где B_{vozobn}^{fact} - фактический расход возобновляемых видов топлива, кг у.т.; Q_{vozobn}^{proizv} - количество тепловой энергии, произведенной за год энергоустановками, работающими на возобновляемых видах топлива, Гкал;

- величина замещения ископаемых видов топлива альтернативными возобновляемыми видами, используемых для выработки тепловой энергии, кг у.т.:

$$B_{zamesch} = \frac{Q_{vozobn}^{proizv}}{Q^{proizv}} B^{fact}. \quad (20)$$

Необходимо отметить, что иерархический уровень рассмотрения проблемы сравнительного анализа эффективности энергопотребления и степень акцентирования внимания на определенных подпроблемах будут влиять на перечень показателей энергоэффективности, а также способ их определения. Исходя из степени детализации проблемы оценивая уровня энергоэффективности какие-то из показателей могут быть исключены из рассмотрения. Или наоборот, может возникнуть необходимость формирования и учета других показателей, описывающих неучтенные стороны проблемы.

Выводы

Исходное множество показателей энергоэффективности объектов коммунальной энергетики должно включать технические характеристики отдельных агрегатов системы теплоснабжения, а также

показатели, описывающие состояние и особенности функционирования агрегатов, их групп, структурных элементов, сетей теплоснабжения и предприятия в целом. Учитывая иерархичность проблемы сравнительного анализа энергоэффективности в сфере теплоснабжения необходимо использовать структуризацию целей и заданий исследования, а, соответственно, и структурированную систему показателей энергоэффективности. При этом следует полагать, что каждый уровень иерархии может иметь характерные показатели энергоэффективности, не свойственные другим уровням, в то же время, существуют показатели, характерные всем уровням, которые могут отличаться только способом получения исходных данных для их исчисления. Детализация отдельных подпроблем требует рассмотрения подмножества определенных показателей энергоэффективности. Причём, чем ниже иерархический уровень исследуемой системы, тем подробнее должно быть описание ее состояния и особенностей функционирования и тем более подробным должен быть учет показателей эффективности энергопотребления для сравнительного анализа энергоэффективности объектов. При решении задачи оценивания энергоэффективности объектов коммунальной энергетики на высших уровнях с целью мониторинга общей ситуации в отрасли является целесообразным применение упрощенной системы показателей энергоэффективности. Такая система должна включать показатели, определение которых возможно с учетом доступной статистической информации без дополнительного обследования структурных элементов предприятий, но вместе с тем, позволяющие охарактеризовать исходное состояние объекта исследования, эффективность его функционирования и получить полное общее представление о проблеме.

Литература (References)

[1] Denysiuk S.P. Osoblivosti realizatsii politiki energoefektyvnosti - prioriteti Ukraine [Features of implementation of energy efficiency policy - priorities Ukraine]. *Energetika: ekonomika,*

tehnologii, ekologiia, 2013, no 3, pp. 7-19 (in Ukrainian).

[2] Galuzeva programa energoefektivnosti ta energozberezhennya v zhytlovo-komunalnomu gospodarstvi na 2010-2014 rick [Branch

- program of energy efficiency and energy conservation in housing and communal service for 2010-2014], Kiev 2009. (in Ukrainian). Available at: <http://document.ua/galuzeva-programa-energoefektivnosti-ta-energozberezhennja-u-nor17772.html> (accessed 20.03.2015).
- [3] Sukhonos M.K. Razrabotka system otsenki energoeffektivnosti energoinfrastruktury predpriatia [The working out of system of estimate of energy efficiency of the enterprise's energy infrastructure]. *Energoberezeniie. Energetika. Energaudit*, 2011, no 4(86), pp. 16-21 (In Russian).
- [4] FprEN16231:2012 Energy Efficiency Benchmarking Methodology, Brussels, CEN-CENELEC Management Centre, April, 2012
- [5] DegWer Saygin, Martin K. Patel, Dolf J. Gielen Global Industrial Energy Efficiency Benchmarking. An Energy Policy Tool: Working Paper / Under the guidance of Pradeep Monga, United Nations Industrial Development Organization, Vienna International Centre, Austria, 2010. Available at: <http://www.unido.org>
- [6] Sokolova E.V. Benchmarking v infrastrukturykh otrasliach: analiz metodologii i praktiki primeneniia (na primere elektroenergetiki). Nauchnye doklady [Benchmarking in Infrastructural Sectors: Analysis of Methodology and Application (the Case of Electricity). Discussion Paper] Saint Petersburg, 2007. – 30 p. (In Russian).
- [7] Brenda Lafleur Benchmarking: efektyvnosti Ukrainykh mist i oblastei [Benchmarking: Efficiency of Ukrainian cities and regions: manual], Kyiv, 2012. (in Ukrainian). Available at: http://www.academy.gov.ua/doc/mijnar_spivrob/mizhnar_proekt/pdf/reop/Benchmarking_Manual-UKR.pdf. (accessed 20.03.2015)
- [8] Rosen V.P., Tyshevich B.L., Inshekov E.N., Rosen P.V. Metodologia benchmarkinga dlia povysheniia urovnia energoeffektivnosti promyshlennykh predpriatii Ukrainy [Methodology of benchmarking of energy efficiency for the industry of Ukraine]. *Problemele energeticii regionale*, 2012, no 2(19), pp. 73-84 (In Russian).
- [9] Chernyavsky, A.V., Midlovets, O.A. Zastosuvanniia tehnologii benchmarkingu dlia porivnyanniia energoeffektivnosti vyschykh navchalnykh zakladiv [Application of benchmarking's technology for compare the energy efficiency of higher education institutions] *Energy. Ecology. Man. Proceedings NTU "KPI"*, IEE. Kyiv, 2013, p.p.282-288 (in Ukrainian).
- [10] Dodonov B., Reityng energoeffektivnosti regioniv Ukrainy: Ukrainian Energy Index (UEI) [Rating of energy efficiency of regions of Ukraine], Kyiv, 2013. (in Ukrainian). Available at: <http://www.energy-index.com.ua> (accessed 20.03.2015)
- [11] Mitrahovich M.M., Gerasimchuk I. C. Metody rozrahunku osnovnykh pokaznykiv energoeffektivnosti pidpriemstva [The method of calculation of basic indicators of energy efficiency of enterprise] *Naukoiemni tehnologii*, 2009, no 3, pp. 93-95 (in Ukrainian).
- [12] Ponkina E.V., Lobova S.V., Kurochkin D.V., Mezhin S.A. Kolichestvennaii otcenka vliianiia tehnologicheskikh i sotsialno-ekonomicheskikh faktorov na effektivnost deiatelnosti selskohoziastvennykh predpriatii Altaiskogo kraia na osnove metodov Data Envelopment Analysis (DEA) i Stochastic Frontier Analysis (SFA) [Quantitative estimation of the impact of technological and socio-economic factors on the efficiency of activity agricultural enterprises of the Altai Territory on the basis of methods Data Envelopment Analysis (DEA) and Stochastic Frontier Analysis (SFA). Part 2]. Barnaul, 2013, 88 p. (In Russian).
- [13] Rosen V.P., Davydenko L.V., Davydenko V.A. Formuvanniia informatsiinogo polia dlia otsiniuvanniia rivniia energoeffektivnosti systems comunalnogo vodopostachanniia [Formation of the information field for the evaluation of energy efficiency level of systems of municipal water supply] *Visnyk Kremenchut'skogo derjavnogo politehnic'nogo universytetu im. M. Ostrograd'skogo*, 2010, no 4/2010(63) Part.1, pp. 50-53 (in Ukrainian).
- [14] Davydenko L.V. Formuvanniia vihidnoi sukupnosti pokaznykiv rivniia energoeffektivnosti ob'ektiv systemy teplopstachanniia [Formation of the initial totality of indicators of energy efficiency level of objects of heating supply system] *Visnyk HNTUSG im. P. Vasylenko. Tehnicni nauky. Vipusk 154 "Problemy energozabezpechennia ta energozberezhennia v APK Ukraine"*, 2014, pp. 5-7 (in Ukrainian).
- [15] Mesarovic M., D. Mako, Takahara Y. Teoriia ierarchicheskikh mnohourovnevnykh system [The theory of hierarchical multilevel systems], Moscow, 1973
- [16] Teoriia system i systemnyi analiz v upravlenii organizatsiiami, Pod red. V.N. Volkovoy and A.A. Emelyanova [The theory of systems and system analysis in management of organizations], Moscow, 2006, 848 p.
- [17] Energetychna strategiiia Ukrainy na period do 2035 roku: Bila knyha energetychnoi polityky Ukrainy "Bezpeka ta konkurentospromozhnist" Proekt [The energy strategy of Ukraine on the period by 2035: White book of energy policy of Ukraine "Security and competitiveness"], Kyiv, 2014, 41 p. (in Ukrainian). Available at:

http://www.niss.gov.ua/public/File/2014_nauk_an_rozrobku/Energy%20Strategy%2020203

[5.pdf](#) (accessed 20.03.2015).

Сведения об авторе.



Давыденко Людмила Валериевна, кандидат технических наук, доцент кафедры электроснабжения Луцкого национального технического университета. Область научных интересов: энергосбережение, эффективное энергопотребление, энергоменеджмент.
Контакты: e-mail: L.Davydenko@mail.ru