

МЕТОДЫ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО ОЦЕНИВАНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБЪЕКТОВ И СИСТЕМ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

© 2011 Н.В. Дилигенский¹, В.И. Немченко¹, М.В. Посашков²

¹Самарский государственный технический университет

²ООО «Средневожская газовая компания», г. Самара

Поступила в редакцию 02.11.2011

Разработан метод многокритериального оценивания энергетической эффективности объектов и систем теплоснабжения, на основе которого сформированы методики многокритериального оценивания энергообеспеченности территориальных образований, методики оценки энергоэффективности по интегральному энергопотреблению, методики способа выбора автономных теплоисточников для систем децентрализованного теплоснабжения, методики выбора систем энергообеспечения зданий и сооружений. Анализ сравнительной эффективности проводился на основе методологии DEA.

Ключевые слова: *энергоэффективность, обобщенный критерий, системный анализ, интегральное энергопотребление, целевая функция, весовой коэффициент, иерархическая модель*

Высокие энергетические затраты снижают конкурентоспособность и инвестиционную привлекательность экономики страны, способствуют постоянному росту цен на энергоносители и на все виды товарной продукции и ухудшают экологию окружающей среды. Проведение энергоэффективной политики, использование энергосберегающих технологий – это магистральное направление повышения конкурентоспособности отечественной экономики, увеличения инвестиционной привлекательности производственных объектов, а также решение экологических вопросов. Потенциал энергообеспечения в системах энергоснабжения страны составляет до 50%, и системная реализация энергосберегающей политики позволит сократить интегральные энергозатраты в 2-2,5 раза за счет эффективного и рационального использования энергетических ресурсов, комплексности проведения мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности при производстве, транспортировке и потреблении энергии [1].

Для проведения мероприятий по энергосбережению необходима разработка объективных методов комплексной оценки энергетической эффективности систем теплоснабжения, источников и потребителей энергии. Существующая методика расчета значений целевых

показателей в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности, утвержденная приказом Министерства регионального развития Российской Федерации от 07 июня 2010 г. № 273 и используемая для анализа результативности мероприятий региональных и муниципальных программ в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности, избыточно информативна, слабо структурирована и основана на огромном объеме исходных данных, которые практически невозможно собрать. Требуется совершенствование методов анализа комплексной энергоэффективности систем энергообеспечения на основе комплексного учета совокупности оценок по различным критериям качества – технологическим, экологическим, экономическим, потребительским. Значительным резервом энергосбережения обладают системы теплоснабжения, в том числе децентрализованные системы с автономными источниками теплоснабжения. Они являются основными в муниципальных территориальных образованиях, где отсутствует развитая инженерная инфраструктура, и получают широкое распространение в условиях рыночной конкуренции в крупных городах. В соответствии с изложенным актуальной является проблема системного анализа, многокритериального оценивания и повышения энергетической эффективности систем децентрализованного теплоснабжения.

Цель работы: применение методов системного анализа для многокритериального оценивания и повышения энергетической эффективности объектов и систем децентрализованного теплоснабжения.

В соответствии с поставленной целью в работе решаются следующие задачи:

Дилигенский Николай Владимирович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой управления и системного анализа в теплоэнергетике. E-mail: usat@samgtu.ru

Немченко Владимир Иванович, кандидат технических наук, доцент кафедры управления и системного анализа в теплоэнергетике. E-mail: netchenko_vi@mail.ru

Посашков Михаил Викторович, кандидат технических наук, руководитель группы исполнения договоров. E-mail: posashkovmv@svgc.ru

- 1) разработка метода многокритериального оценивания энергетической эффективности объектов и систем децентрализованного теплоснабжения;
- 2) формирование состава частных и обобщенных критериев энергетической эффективности автономных теплоисточников;
- 3) построение методик расчета потенциала энергосбережения при теплоснабжении зданий и сооружений;
- 4) обоснование направлений повышения энергоэффективности в системах децентрализованного теплоснабжения.

Для решения поставленных задач разработан метод многокритериального оценивания системной энергетической эффективности, сущность которого заключается в:

- 1) определении объема и состава первичной информации об энергетических характеристиках объектов;
- 2) конструировании на их основе частных критериев энергоэффективности;
- 3) формировании на основе частных критериев путем их свертки обобщенного глобального критерия энергоэффективности. При свертке используется методология многокритериального

оценивания – Data Envelopment Analysis (DEA), позволяющая определять как системную интегральную энергоэффективность, так и веса и ранги частных критериев путем решения соответствующих задач математического программирования при минимальном использовании субъективного фактора в ранжировании локальных показателей [4].

Практическое использование метода многокритериального оценивания системной энергетической эффективности рассмотрено на примере административно-территориальных образований (муниципальных районов), автономных источников теплоснабжения и потребителей энергии. В качестве конкретных объектов исследования были взяты 26 муниципальных районов Самарской области и для них изучены функциональные структуры систем энергоснабжения. Установлено, что теплоснабжение административно-территориальных образований осуществляется, в целом, автономными отопительными котельными и индивидуальными теплоисточниками [2]. Для комплексного анализа энергоснабжения построена четырехуровневая иерархическая модель оценивания энергообеспечения, представленная на рис. 1.

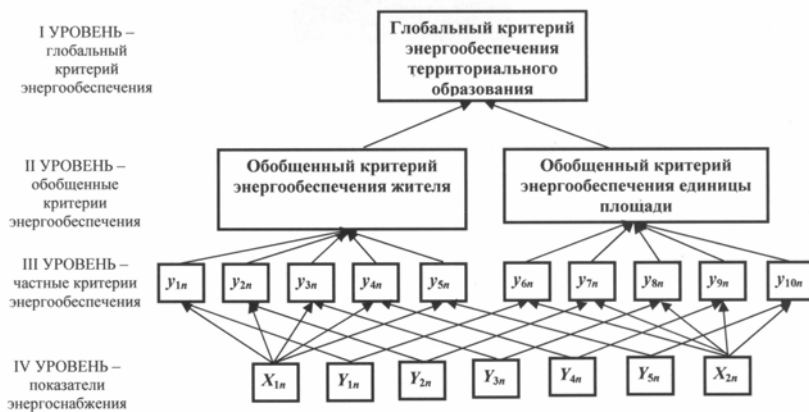


Рис. 1. Иерархическая модель оценивания энергообеспечения территориального образования

Была собрана и классифицирована информация о следующих характеристиках энергообеспечения n муниципальных районов: численности населения районов – X_{1n} ; жилой площади, обеспечиваемой энергоснабжением – X_{2n} ; интегральном потреблении тепловой – Y_{1n} и электрической энергии – Y_{2n} ; расходах газа – Y_{5n} и воды на бытовые нужды – Y_{3n} ; величинах канализационных стоков – Y_{4n} ; $n=1, 2, \dots, 26$. На основе этих показателей были сформированы и проанализированы 10 частных критериев энергообеспечения муниципальных районов – удельные потребления и расходы на одного жителя и на единицу отапливаемой площади каждого из видов энергоресурсов: тепловой энергии – $y_{1n} = \frac{Y_{1n}}{X_{1n}}, y_{6n} = \frac{Y_{6n}}{X_{2n}}$; электроэнергии – $y_{2n} = \frac{Y_{2n}}{X_{1n}}, y_{7n} = \frac{Y_{2n}}{X_{2n}}$; газа –

$y_{5n} = \frac{Y_{5n}}{X_{1n}}, y_{10n} = \frac{Y_{5n}}{X_{2n}}$; воды – $y_{3n} = \frac{Y_{3n}}{X_{1n}}, y_{8n} = \frac{Y_{3n}}{X_{2n}}$; стоков – $y_{4n} = \frac{Y_{4n}}{X_{1n}}, y_{9n} = \frac{Y_{4n}}{X_{2n}}$. На рис. 2 и 3 представлены рассчитанные значения частных критериев энергообеспечения и проведено сопоставление их с нормативными. Анализ значений показывает, что по разным частным критериям получают различные оценки степени энергообеспеченности районов. Например, Большеглушицкий район оказывается лучшим по потреблению тепловой энергии на жителя, по обеспечению электрической энергией на жителя на 17-ом месте, по потреблению газа на бытовые нужды на 15 месте, по расходу воды на жителя – самый худший. Частные критерии являются противоречивыми, и для получения системной оценки энергообеспеченности сформированы обобщенные критерии энергообеспечения по каждой группе частных критериев.

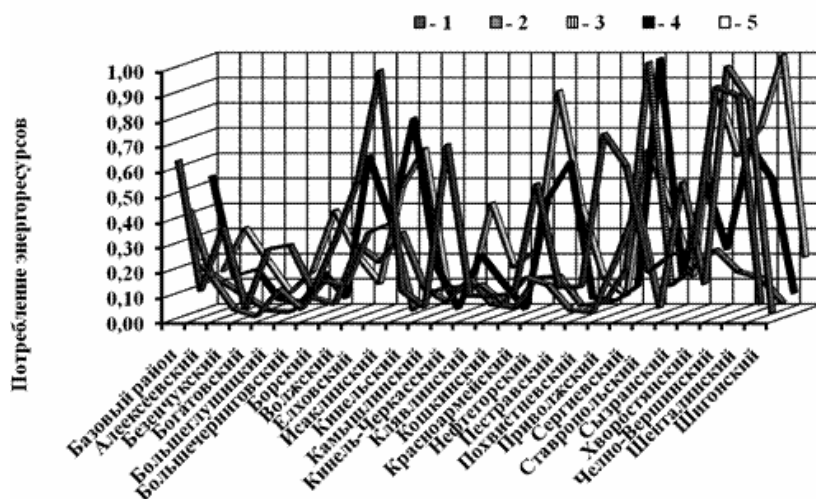


Рис. 2. Удельные показатели энергообеспечения жителей районов: 1 – потребление тепловой энергии; 2 – потребление электрической энергии; 3 – расход воды; 4 – отвод стоков; 5 – расход газа

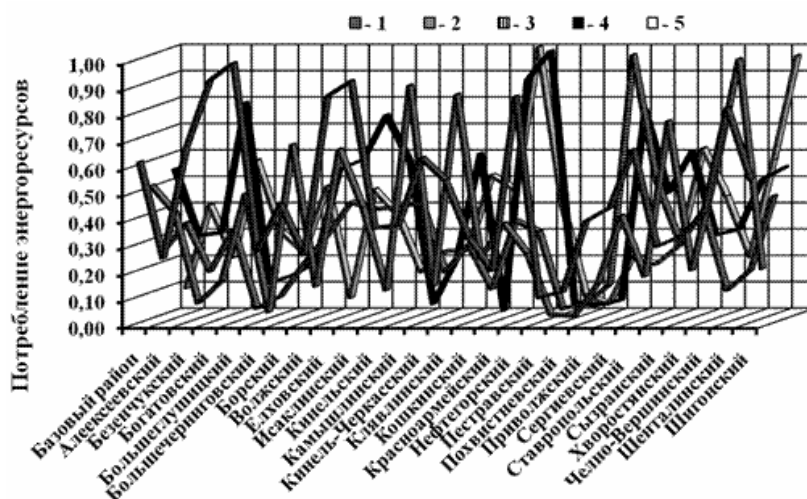


Рис. 3. Удельные показатели энергообеспечения единицы площади: 1 – потребление тепловой энергии; 2 – потребление электрической энергии; 3 – расход воды; 4 – отвод стоков; 5 – расход газа

Обобщенный критерий энергообеспечения жителя n -го района в соответствии с DEA методологией сформирован как максимизируемый функционал взвешенной суммы частных критериев энергообеспечения – $y_{1n}, y_{2n}, y_{3n}, y_{4n}, y_{5n}$

$$f_n = \max_{u_{1n}, u_{2n}, u_{3n}, u_{4n}, u_{5n} \in G} u_{1n} \cdot y_{1n} + u_{2n} \cdot y_{2n} + u_{3n} \cdot y_{3n} + u_{4n} \cdot y_{4n} + u_{5n} \cdot y_{5n}, \quad (1)$$

$n=1, 2 \dots 27$.

На стадии постановки задачи обобщенного оценивания по функционалу (1) весовые коэффициенты u_{in} ($i=1, 2 \dots 5$) частных критериев энергообеспеченности y_{in} считаются неизвестными. Для их отыскания область значений G весовых коэффициентов $u_{1n}, u_{2n}, u_{3n}, u_{4n}, u_{5n}$ определяется системой 27 неравенств, отвечающих

нормированию обобщенных показателей энергообеспечения районов на интервале $[0; 1]$

$$\begin{aligned} u_{1n} \cdot y_{11} + u_{2n} \cdot y_{21} + u_{3n} \cdot y_{31} + u_{4n} \cdot y_{41} + u_{5n} \cdot y_{51} &\leq 1, \\ u_{1n} \cdot y_{12} + u_{2n} \cdot y_{22} + u_{3n} \cdot y_{32} + u_{4n} \cdot y_{42} + u_{5n} \cdot y_{52} &\leq 1, \\ &\vdots \\ u_{1n} \cdot y_{127} + u_{2n} \cdot y_{227} + u_{3n} \cdot y_{327} + u_{4n} \cdot y_{427} + u_{5n} \cdot y_{527} &\leq 1 \end{aligned} \quad (2)$$

Модель обобщенного оценивания (1), (2) для $n=\{1, 2 \dots 27\}$ определяет 27 задач линейного математического программирования. Решение каждой из n -задач даёт значение обобщенного критерия энергообеспечения f_n для n -го объекта, определенное на единичном интервале $[0, 1]$, и соответствующие ему весовые коэффициенты $u_n = \{u_{1n}, u_{2n}, \dots, u_{5n}\}$, максимизирующие функционал (1). Задачи (1), (2) линейного программирования решаются симплекс-методом.

Результаты расчета по (1), (2) критериев f_n представлены на рис. 4. Значения этих критериев ранжируют районы по интегральному энергообеспечению населения всеми видами энергоресурсов. Так, 3 района имеют обобщенный критерий энергообеспечения $f_n=0,7$, практически соответствующий нормативному энергопотреблению. 7 районов имеют энергообеспеченность

выше нормативной, при этом у 4 районов максимальное значение обобщенного критерия энергообеспечения $f_n=1$ и они образуют эффективное множество объектов. 16 районов (60%) имеют степень энергообеспечения жителя ниже нормативной, при этом значения интегральных критериев энергообеспеченности различных районов отличаются более, чем в 12 раз.

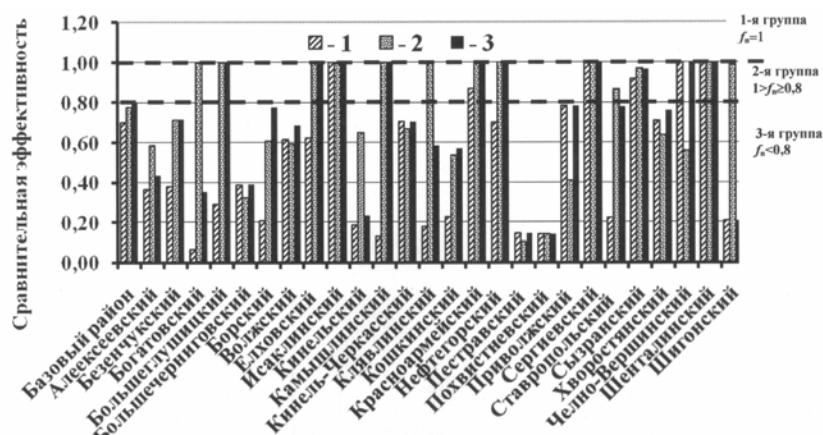


Рис. 4. Обобщенные критерии энергообеспечения районов:
1 – жителя; 2 – единицы площади; 3 – глобальный

Обобщенный критерий оценки степени энергообеспеченности муниципального образования на единицу площади аналогично (1) сформирован как максимизируемый функционал взвешенной суммы частных критериев энергообеспечения – $y_{6n}, y_{7n}, y_{8n}, y_{9n}, y_{10n}$

$$f_n = \max_{u_{6n}, u_{7n}, u_{8n}, u_{9n}, u_{10n} \in G} u_{6n} \cdot y_{6n} + u_{7n} \cdot y_{7n} + u_{8n} \cdot y_{8n} + u_{9n} \cdot y_{9n} + u_{10n} \cdot y_{10n}, \quad (3)$$

$n=1, 2 \dots 27$.

Система ограничений весовых коэффициентов $G \in (u_{6n}, u_{7n}, u_{8n}, u_{9n}, u_{10n})$, конструируется аналогично (2). Результаты расчета критериев интегральной энергообеспеченности единицы жилой площади также представлены на рис. 4. Видно, что обобщенные критерии энергообеспеченности на одного жителя и на единицу отапливаемой площади также являются противоречивыми, и для получения системной обобщенной оценки энергообеспеченности сформируем обобщенный глобальный критерий энергообеспечения. Глобальный критерий системной энергообеспеченности, характеризующий интегральную оценку энергоснабжения жителей и отапливаемых площадей n -ого муниципального района всеми видами ресурсов, сконструирован в виде аддитивно-мультипликативного максимизируемого функционала

$$f_n = \max_{u_{11n}, u_{12n}, u_{13n}, u_{14n}, u_{15n}, v_{1n}, v_{2n} \in G} \frac{u_{11n} \cdot Y_{1n} + u_{12n} \cdot Y_{2n}}{v_{1n} \cdot X_{1n} + v_{2n} \cdot X_{2n}} + \frac{u_{13n} \cdot Y_{3n} + u_{14n} \cdot Y_{4n} + u_{15n} \cdot Y_{5n}}{v_{1n} \cdot X_{1n} + v_{2n} \cdot X_{2n}} \quad (4)$$

$n=1, 2 \dots 27$. Здесь в числителе – взвешенная сумма показателей энергоснабжения с прямой зависимостью со степенью энергообеспеченности, а в знаменателе – взвешенная сумма характеристик, обратно влияющих на величину глобального критерия. Система ограничений на значения весовых коэффициентов $u_{11n}, u_{12n}, u_{13n}, u_{14n}, u_{15n}, v_{1n}, v_{2n}$ формируется аналогично (2).

Модель оценивания системной энергетической эффективности (4) определяет 27 задач нелинейного – дробно-линейного математического программирования. Результаты расчета критериев f_n , характеризующих системную эффективность энергообеспечения муниципальных районов Самарской области всеми видами энергоресурсов, являющиеся решениями 27 задач нелинейного математического программирования (4), представлены на рис. 4. Видно, что системные оценки энергообеспеченности районов по глобальному критерию отличны от предыдущих.

По результатам анализа энергообеспеченности муниципальных районов разработаны методики оценки эффективности энергообеспечения региональных объектов, позволяющих повысить обоснованность отбора энергоэффективных проектов и мероприятий в региональные и муниципальные программы энергосбережения, осуществлять постоянный мониторинг потребления энергоресурсов в территориальных образованиях, определять направления повышения эффективности энергообеспеченности населения и газификации административно-территориальных образований. С использованием метода многокритериального оценивания системной энергетической эффективности решена задача много-

критериальной оценки энергоэффективности автономных теплоисточников систем децентрализованного теплоснабжения на примере энергетического оборудования, применяемого в настоящее время для теплоснабжения жилых зданий, использующих в качестве основного топлива газ (котельная пристроенная, блочно-модульная, крышная, котел напольный, котел настенный, газовый конвектор, воздухонагреватель) [3].

Базовый состав частных критериев энергоэффективности теплоисточников сформирован в соответствии с нормативно определенными показателями в виде совокупности следующих характеристик: коэффициент полезного действия (КПД) – Y_{1n} , удельный расход газа – X_{3n} , мощность теплоисточника – Y_{2n} , содержание в выбросах угарного газа – Y_{3n} и оксидов азота – Y_{4n} , срок службы оборудования – Y_{10n} , температура теплоносителя на выходе из теплогенератора – Y_{8n} , срок окупаемости дисконтированный – Y_{7n} , индекс доходности – Y_{9n} , внутренняя ставка доходности – Y_{11n} , эксплуатационные затраты – X_{10n} , число обслуживаний в год – X_{12n} . На их основе сконструированы частные критерии и проведено их агрегирование в 4 группы интегральных критериев первого уровня, оценивающих технологические, экологические, экономические и потребительские качества теплоисточников. Структура критерия (5) технологической эффективности отвечает повышению системной энергоэффективности при увеличении КПД (Y_{1n}) и мощности теплоисточника (Y_{2n}) и при уменьшении удельного расхода газа (X_{3n}).

$$f_n = \max_{u_{1n}, v_{3n}, u_{2n} \in G} u_{1n} \cdot Y_{1n} + \frac{1}{v_{3n} \cdot X_{3n}} + u_{2n} \cdot Y_{2n} \quad (5)$$

$n=1, 2 \dots 7$. Здесь u_{1n}, u_{2n}, v_{3n} – положительные весовые коэффициенты соответствующих частных показателей, определяемые из системы

ограничений на область значений весов $G \in (u_{1n}, u_{2n}, v_{3n})$, аналогичной (2).

Обобщенный критерий экологической эффективности (6) теплоисточников сформирован в виде функционала, отвечающего минимизации удельного расхода газа (X_{3n}), выбросов угарного газа (Y_{3n}) и оксидов азота (Y_{4n}).

$$f_n = \max_{u_{3n}, v_{3n}, v_{4n} \in G} \frac{u_{3n}}{X_{3n}} + \frac{1}{v_{3n} \cdot Y_{3n} + v_{4n} \cdot Y_{4n}} \quad (6)$$

$n=1, 2 \dots 7$. Здесь v_{3n}, v_{4n}, u_{3n} – соответствующие положительные весовые коэффициенты, определяемые системой ограничений, конструируемой аналогично (2).

Конструкция функционала (7) оценки экономической эффективности соответствует повышению индекса доходности (Y_{9n}), внутренней ставки доходности (Y_{11n}) и минимизации срока окупаемости (Y_{7n}).

$$f_n = \max_{u_{9n}, u_{11n}, v_{7n} \in G} u_{9n} \cdot Y_{9n} + u_{11n} \cdot Y_{11n} + \frac{1}{v_{7n} \cdot Y_{7n}} \quad (7)$$

$n=1, 2 \dots 7$. Здесь v_{7n}, u_{9n}, u_{11n} – веса, определяемые аналогично предыдущим задачам.

Критерий потребительской эффективности (8) отвечает максимизации частных показателей в числителе и минимизации величин в знаменателе.

$$f_n = \max_{u_{8n}, u_{10n}, v_{10n}, v_{12n} \in G} \frac{u_{8n} \cdot Y_{8n} + u_{10n} \cdot Y_{10n}}{v_{10n} \cdot X_{10n} + v_{12n} \cdot X_{12n}} \quad (8)$$

$n=1, 2 \dots 7$. Результаты оценки технологической, экологической, экономической и потребительской эффективностей теплоисточников представлены на рис. 5.

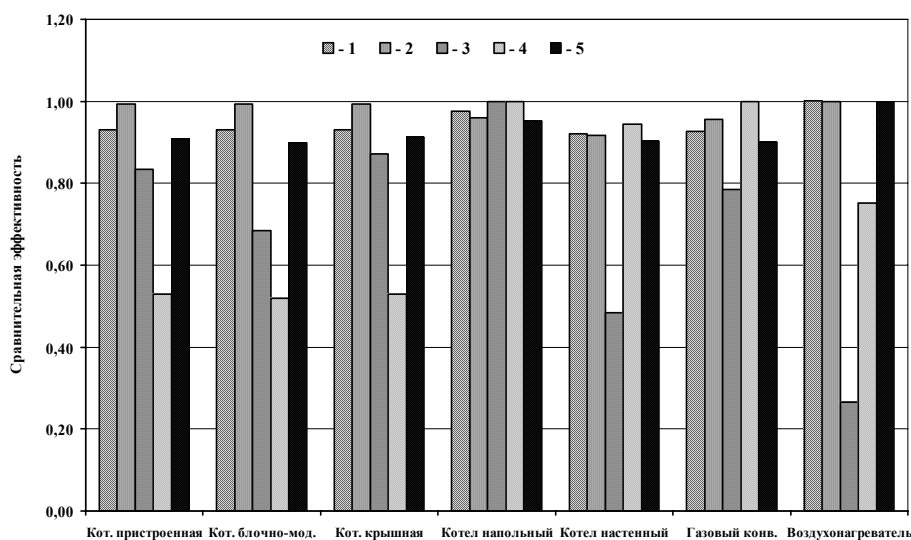


Рис. 5. Классификация теплоисточников по группам показателей:

1 – технологическим; 2 – экологическим; 3 – экономическим; 4 – потребительским; 5 – системным

Анализ оценок теплоисточников по 4 группам показателей: технологическим, экологическим, экономическим и потребительским показывает, что они не дают однозначного ответа об интегральной эффективности автономных теплоисточников при учете всех характеристик. Для решения задачи оценки системной энергоэффективности теплоисточников по совокупности всех 12 частных характеристик – $X_{3n}, X_{10n}, X_{12n}, Y_{1n}, Y_{2n}, Y_{3n}, Y_{4n}, Y_{7n}, Y_{8n}, Y_{9n}, Y_{10n}, Y_{11n}$ – целевая функция согласно методу DEA сконструирована в виде максимизируемого функционала

$$f_n = \max_{u_{1n}, u_{2n}, u_{3n}, u_{4n}, u_{7n}, u_{8n}, u_{9n}, u_{10n}, u_{11n}, v_{3n}, v_{4n}, v_{7n}, v_{8n}, v_{9n}, v_{10n}, v_{12n} \in G} u_{1n} \cdot Y_{1n} + u_{2n} \cdot Y_{2n} + \frac{1}{v_{3n} \cdot X_{3n}} + \frac{1}{v_{3n} \cdot Y_{3n} + v_{4n} \cdot Y_{4n}} + u_{9n} \cdot Y_{9n} + u_{11n} \cdot Y_{11n} + \frac{1}{v_{7n} \cdot Y_{7n}} + \frac{u_{8n} \cdot Y_{8n} + u_{10n} \cdot Y_{10n}}{v_{10n} \cdot X_{10n} + v_{12n} \cdot X_{12n}}, \quad (9)$$

$n=1, 2 \dots 7$ с ограничениями, определяющими область весовых коэффициентов G , подобными (2).

В результате решения 7 оптимизационных задач нелинейного программирования получены значения показателей системной энергоэффективности теплоисточников, приведенные на рис. 5. Максимальная системная эффективность у воздухонагревателя ($f_n=1$), что обусловлено высокими значениями технологической эффективности. Показатели системной эффективности у остальных теплоисточников лежат в интервале $f_n=0,9-0,95$. Предложенные в работе методики способа выбора автономных теплоисточников для систем децентрализованного теплоснабжения позволили получить рекомендации по отбору вариантов: технических решений, коммерческих предложений по газоснабжению объектов различного назначения, проектируемых систем газоснабжения и теплоснабжения.

На следующем этапе исследована эффективность систем теплообеспечения потребителей. Проанализированы наиболее распространенные интегральная и региональная методики расчета тепловых потерь и классификация зданий по показателю энергоэффективности отопления. Эти методики характеризуются принципиально различными способами расчета тепловых потерь здания. Согласно региональной методике определяются максимальные часовые теплотери отдельно для каждого помещения, которые впоследствии суммируются. По интегральной методике расчеты тепловых потерь проводятся за отопительный период для всего здания в целом. С использованием интегральной и региональной методик рассчитаны тепловые потери и найдены классы энергоэффективности многоэтажной жилой застройки микрорайона, состоящей из 15 домов [4]. Анализ показал, что

применение различных методик относит анализируемые многоэтажные дома к разным классам энергоэффективности. В соответствии с этим для получения системных оценок энергоэффективности зданий предложено использовать метод DEA, и целевая функция энергоэффективности, отвечающая максимизации объемно-планировочных характеристик здания и минимизации потребления тепловой энергии на отопление в виде:

$$f_n = \max_{u_{10n}, u_{11n}, u_{12n}, v_{11n} \in G} \frac{u_{10n} \cdot Y_{10n} + u_{11n} \cdot Y_{11n} + u_{12n} \cdot Y_{12n}}{v_{11n} \cdot X_{11n}} \quad (10)$$

$n=1, 2 \dots 16$. Здесь Y_{11n} – жилая площадь, Y_{10n} – отапливаемая площадь, Y_{12n} – отапливаемый объем, X_{11n} – приведенный расход тепловой энергии. Весовые коэффициенты $G \in (u_{10n}, u_{11n}, u_{12n}, v_{11n})$, определяются, как и ранее, решениями соответствующих задач математического программирования. Функционал (10) отвечает максимизации частных показателей числителя и минимизации частных показателей знаменателя.

Для ранжировки энергоэффективности зданий сформирована модель базового дома (Дом 1), для которого характеристики отвечают нормативным объемно-планировочным и теплоэнергетическим показателям. Графически результаты многокритериального оценивания энергоэффективности по разным методикам представлены на рис. 6. Видно в целом, как качественное соответствие оценок по различным методикам, так и количественные различия до 10% в численных показателях энергоэффективности. В соответствии с этим предложен способ классификации зданий по обобщенному DEA-показателю системной энергоэффективности потребления тепловой энергии на отопление: I класс – $f_n=1$; II класс – $f_n \in (0,7-0,99)$; III класс – $f_n \in (0,5-0,69)$; IV класс – $f_n \in (0,31-0,49)$; V класс – $f_n \in (0-0,3)$.

По результатам оценивания определено, что Дом 6 (рис. 6) имеет самый низкий класс энергоэффективности по потреблению тепловой энергии на отопление, и для него рекомендована полная реконструкция здания. Предложены способы утепления ограждающих конструкций, и тепловые расчеты показали, что теплопотребление зданий уменьшается при этом более, чем в 2 раза. На примере многоквартирного жилого Дома 6, теплоснабжение которого осуществляется настенными котлами-колонками, проанализирован случай выхода из строя теплогенератора в одной из квартир. Определено, что температура с течением времени в квартире с вышедшим из строя котлом падает до 10 градусов и сохраняется постоянной за счет перетоков тепла из соседних квартир, что препятствует размораживанию системы отопления, и увеличивает расход газа в соседних квартирах более чем в 1,5 раза.

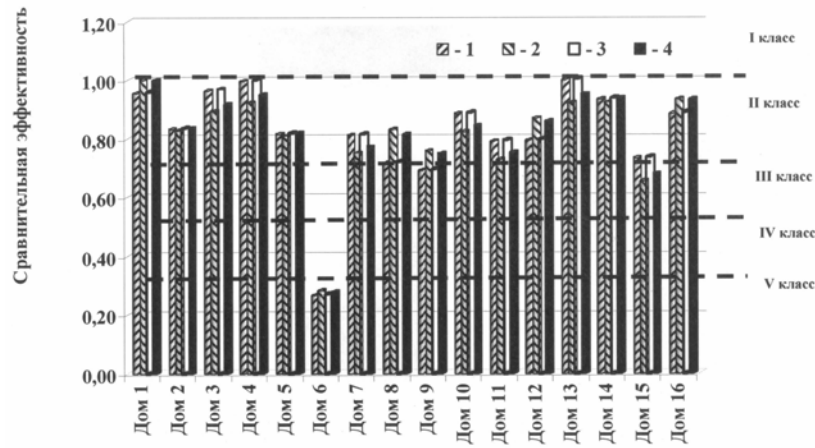


Рис. 6. Энергоэффективность отопления домов:

1 – по удельному расходу тепловой энергии на кв. м., по интегральной методике; 2 – по удельному расходу тепловой энергии на куб. м., по интегральной методике; 3 – по удельному расходу тепловой энергии на кв. м. по региональной методике; 4 – по системному показателю f_n на основе DEA-методики

Наиболее современным подходом к оценке энергоэффективности является анализ энергоэффективности зданий по интегральному энергопотреблению. Решена задача оценки энергоэффективности по интегральному потреблению базовых энергоресурсов [5]. Целевая функция оценки энергоэффективности по интегральному энергопотреблению отвечает минимизации потребления базовых ресурсов на единицу отапливаемой площади и число жильцов. Проведено сравнение оценок энергоэффективности по интегральному энергопотреблению и потреблению тепловой энергии только на отопление. Полученные мно-

гокритериальные оценки, приведенные на рис. 7, позволили классифицировать потребителей по интегральному энергопотреблению в 3 группы, определить потенциал энергосбережения, сформировать рекомендации по повышению энергоэффективности зданий. Предложенная методика оценки энергетической эффективности зданий по интегральному энергопотреблению позволяет потребителям, застройщикам, собственникам домов и поставщикам энергии контролировать потребление энергоресурсов и определять направления повышения эффективности их использования.

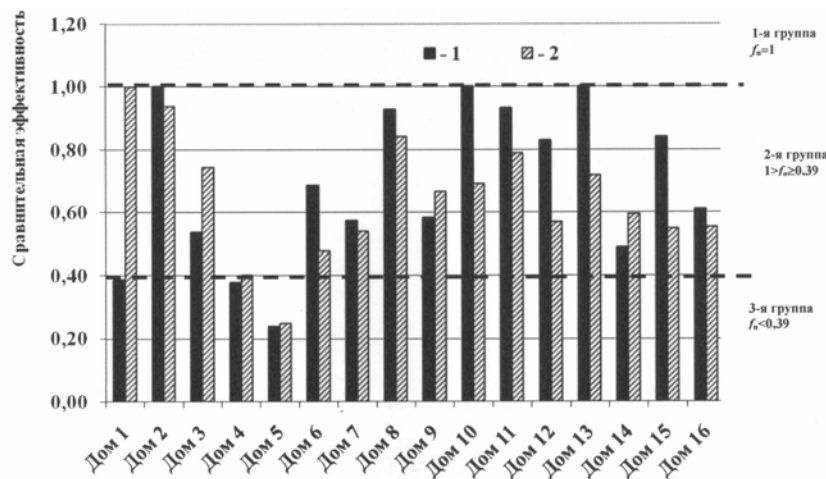


Рис. 7. Энергоэффективность домов по: 1 – интегральному энергопотреблению; 2 – потреблению тепловой энергии на отопление

Выводы: при проектировании нового здания важным аспектом является выбор инженерных систем энергообеспечения. Решена задача многокритериальной оценки энергоэффективности многоквартирного жилого дома на стадии проектирования на основе целевых функций потребителя, застройщика и территориальных органов власти, приведенных в [6]. Руководствуясь

принципами системного анализа, сформирована методика, которая позволила проанализировать проблему расхода энергоресурсов в многоэтажном жилом доме с учетом всех заинтересованных сторон – застройщика, потребителя и территориальных органов власти. Метод многокритериального оценивания системной

энергетической эффективности позволил получить следующие результаты:

- 1) Предложен метод многокритериального оценивания энергетической эффективности систем децентрализованного теплоснабжения.
- 2) Построена совокупность частных и обобщенных показателей энергетической эффективности автономных теплоисточников.
- 3) Предложены методики расчета потенциала энергосбережения в системах теплоснабжения зданий.
- 4) Разработаны направления повышения энергоэффективности в системах децентрализованного теплоснабжения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Стенографический отчет о расширенном заседании президиума Государственного совета по вопросу повышения энергоэффективности российской экономики от 02 июля 2009 года, Архангельск. Код доступа: <http://www.kremlin.ru>
2. Посашков, М.В. Методика оценивания энергоресурсообеспеченности населения области / М.В. Посашков, Н.В. Дилигенский // Математическое моделирование и краевые задачи: Тр. Шестой Всероссийской науч. конф. Ч 2. Самара: СамГТУ, 2009. С. 142-144.
3. Посашков, М.В. Методика многокритериального оценивания газоиспользующего оборудования / М.В. Посашков, А.А. Гаврилова, Н.В. Луциков и др. // Математическое моделирование и краевые задачи: Тр. Пятой Всероссийской науч. конф. Ч 2. Самара: СамГТУ, 2008. С. 107-109.
4. Посашков, М.В. Методология оценки энергетической эффективности потребителей тепла / М.В. Посашков, В.И. Немченко // Информационные технологии и математическое моделирование: Материалы Восьмой Всероссийской науч.-практич. конф. с международным участием. Ч 2. Томск: ТомГТУ, 2009. С. 166-172.
5. Немченко, В.И. Многокритериальное оценивание и анализ системной энергоэффективности малоэтажной жилой застройки / В.И. Немченко, М.В. Посашков // Вестник СамГТУ. Серия «Технические науки». 2010. №4(27). С. 182-188.
6. Дилигенский, Н.В. Системный анализ и оптимизация проектных решений энергоснабжения жилого здания в современных строительных технологиях / Н.В. Дилигенский, В.И. Немченко, М.В. Посашков // Известия Самарского научного центра РАН. 2010. Т. 12, №4(3). С. 553-557.

METHODS OF SYSTEM ANALYSIS FOR MULTICRITERIA ESTIMATION AND HEIGHTENING OF POWER EFFICIENCY AT OBJECTS AND DECENTRALIZED HEAT SUPPLY SYSTEMS

© 2011 N.V. Diligenskiy¹, V.I. Nemchenko¹, M.V. Posashkov²

¹ Samara State Technical University

² «Srednevolzhskaya Gas Company» Ltd., Samara

The method of multicriteria estimation of power efficiency at objects and heat supply systems on the basis of which are generated the methods of multicriteria estimation of power security at territorial formations, methods of estimation the power efficiency on integral power consumption, methods of a way of choice at autonomous heat sources for decentralized heat supply systems, methods of a choice the power supply systems of buildings is developed. The analysis of comparative efficiency was spent on the basis of DEA methodology.

Key words: *power efficiency, generalized criterion, systems analysis, integral power consumption, objective function, weighting coefficient, hierarchical model*

Nikolay Diligenskiy, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the "Management and System Analysis in Heat Power System" Department. E-mail: usat@samgtu.ru

Vladimir Nemchenko, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the "Management and System Analysis in Heat Power Systems" Department. E-mail: nemchenko_vi@mail.ru

Mikhail Posashkov, Candidate of Technical Sciences, Chief of the Execution of Contracts Group. E-mail: posashkovmv@svgc.ru