

**М. В. ПОСАШКОВ**  
**В. И. НЕМЧЕНКО**

## **СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УЧЁТА ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ**

### **SYSTEM APPROACH TO THE MODELING OF AUTOMATED CONTROL SYSTEMS AND THERMAL ENERGY METERING**

*Предложен алгоритм формирования структуры автоматизированной системы контроля и учёта тепловой энергии, представляющий собой многоуровневую иерархическую модель. В работе сформировано восемь трёхуровневых линейных автоматизированных систем контроля и учёта тепловой энергии. Для выбора наилучшей структуры автоматизированной системы контроля и учёта тепловой энергии, при многообразии на рынке измерительных и вычислительных приборов, отличающихся способами измерения и передачи информации, использован метод многокритериального оценивания системной эффективности структур. Полученные результаты позволяют провести сравнительный анализ структур и выполнить выбор наилучшей с учётом приоритетов лица, принимающего решение.*

**Ключевые слова:** системный анализ, коммерческий учёт, теплосчетчик; преобразователи расхода, температуры, давления; граф, иерархическая модель

**Введение.** В условиях постоянного роста стоимости энергоносителей, низкой платежеспособности потребителей, высокого износа тепловых энергоустановок систем централизованного теплоснабжения энергоснабжающие предприятия обязаны выполнять требования Федерального закона № 190-ФЗ «О теплоснабжении» в части обеспечения надёжного и бесперебойного теплоснабжения потребителей [1]. Правила технической эксплуатации тепловых энергоустановок [2] требуют от энергоснабжающего предприятия поддержания договорных давления с отклонением не более  $\pm 0,2$  кгс/см<sup>2</sup> и температуры на границе балансовой ответственности в подающем трубопроводе в пределах  $\pm 3$  °С от установленной температурным графиком. Правила коммерческого учёта тепловой энергии теплоносителя [3] также требуют от энергоснабжающего предприятия обеспечение контроля и поддержания у потребителя требуемого располагаемого напора и температуры.

*An algorithm for the formation of the structure of an automated system for monitoring and accounting for thermal energy, which is a multi-level hierarchical model, is proposed. Eight three-level linear automated systems for control and accounting of thermal energy are formed in the work. To select the best structure of the automated system for monitoring and accounting for thermal energy, with a variety of measuring and computing devices on the market that differ in measuring and transmitting information, the method of multi-criteria evaluation of the system efficiency of structures is used. The obtained results allow a comparative analysis of the structures and the selection of the best one, taking into account the priorities of the decision maker.*

**Keywords:** system analysis, commercial account, heat meter; flow, temperature, pressure transducers; graph, hierarchical model

Для выполнения всех вышеперечисленных требований энергоснабжающая организация вынуждена организовывать автоматизированные системы контроля и учёта энергоресурсов (АСКУЭ): количества тепловой энергии, расходов, располагаемого давления и температуры теплоносителя, поставляемых потребителю.

Основными элементами системы АСКУЭ являются теплосчетчики, устанавливаемые на границе балансовой и эксплуатационной ответственности между энергоснабжающей организацией и потребителем. Обоснованный выбор модели теплосчетчика обеспечит надёжное исполнение своих договорных обязательств как поставщика, так и потребителя энергоресурсов.

Также важную роль играет выбор способа передачи информации с теплосчётчика как с позиции надёжности, так и затрат на создание и последующую эксплуатацию структуры системы АСКУЭ.

Для разработки системы АСКУЭ предприятия, функционирующего в рыночных условиях, требуется формирование структур управления, способных к самоуправлению и саморазвитию. Создание таких структур возможно посредством комплексной оценки эффективности функционирования системы АСКУЭ предприятия с использованием методов системного анализа. Системный подход позволяет выполнить комплексную оценку эффективности функционирования системы АСКУЭ предприятия с учетом многих факторов: энергетических, экономических, экологических, потребительских, организационных, нормативно-правовых и других, характеризующих его ретроспективную и текущую деятельность, а также сформировать в условиях рыночной экономики комплекс стратегических мероприятий, обеспечивающих быстрое реагирование на изменение факторов внешней среды.

Целью исследования является разработка системного подхода к формированию и выбору оптимальных схем систем АСКУЭ, обеспечивающих постоянный мониторинг качества теплоснабжения потребителей и своевременного выявления утечек.

В соответствии с целью поставлены следующие задачи:

- Разработка алгоритма формирования многоуровневой иерархической модели выбора оборудования для систем АСКУЭ.

- Проведение сравнительного анализа систем АСКУЭ с учётом приоритетов лица, принимающего решение.

Рассмотрим принцип формирования и выбора наилучшего варианта многоуровневой системы АСКУЭ на примере системы теплоснабжения производственного объекта.

### Описание существующей системы коммерческого учета тепловой энергии производственного объекта

Система теплоснабжения промышленной площадки включает в себя источник тепловой энергии, тепловую сеть и системы теплоснабжения 45 потребителей. Источник тепловой энергии – блочная модульная котельная. Тепловая энергия используется потребителями для нужд отопления, горячего водоснабжения и вентиляции.

Структура существующей трёхуровневой системы контроля и учета тепловой энергии и теплоносителя представлена в виде графа  $G_0$  [1] на рис. 1. Вершина  $a_1$  графа  $G_0$  – инженер, который производит ручной сбор данных при обходе каждого теплового пункта, а также занимается обработкой и анализом этих данных и передает их лицу, принимающему решение по результатам учета –  $a_0$ ;  $b_1$ – $b_{45}$  – теплосчетчики, осуществляющие автоматическое измерение параметров теплоснабжения и расчет количества тепловой энергии, установленные в индивидуальных тепловых пунктах потребителей. Аналитическое представление трёхуровневого графа имеет вид

$$G_0 = \{a_0, a_1, b_1, \dots, b_{45}\}. \quad (1)$$

Данная структура обладает рядом существенных недостатков: низкая оперативность управления теплоснабжением промплощадки из-за длительного процесса сбора и передачи полученной информации на верхний уровень. Кроме того, существующие теплосчетчики, установленные в тепловых пунктах потребителей, не соответствуют требованиям Правил [2] и нуждаются в модернизации.

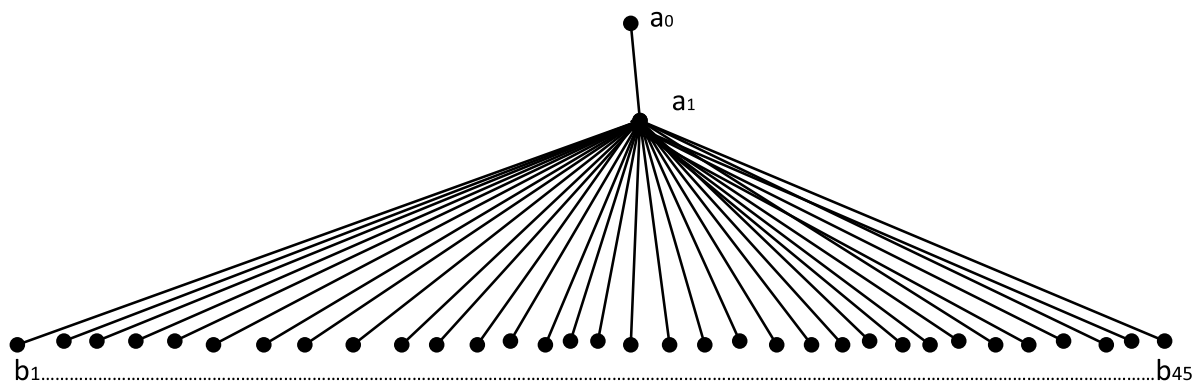


Рис. 1. Структура существующей системы учета тепловой энергии и теплоносителя –  $G_0$

Модернизированная система АСКУЭ упрощит сбор информации о выработке, распределении и потреблении тепловой энергии, обеспечит большую надежность, оперативность получения информации и ее постоянный мониторинг.

Алгоритм формирования структуры АСКУЭ представлен на рис. 2. На основе анализа существующей структуры и параметров учета тепловой энергии и теплоносителя на промплощадке формулируются требования к комплектам теплосчетчиков.

На основе технологических и структурных требований осуществляется выбор группы теплосчетчиков, наиболее полно удовлетворяющих этим требованиям. На следующем этапе производятся расчеты метрологических характеристик и показателей надежности приборных комплектов. Затем строятся и моделируются трехуровневые структуры АСКУЭ. Осуществляется выбор наилучшей структуры.

**Выбор оборудования для комплектов теплосчетчиков**

Для модернизации существующей системы учета были рассмотрены теплосчетчики четырех производителей: ЗАО «Взлет», ООО «Промсервис», ООО «Теплоком» и ООО «Карат». Для закрытых систем теплоснабжения с зависимым подключением

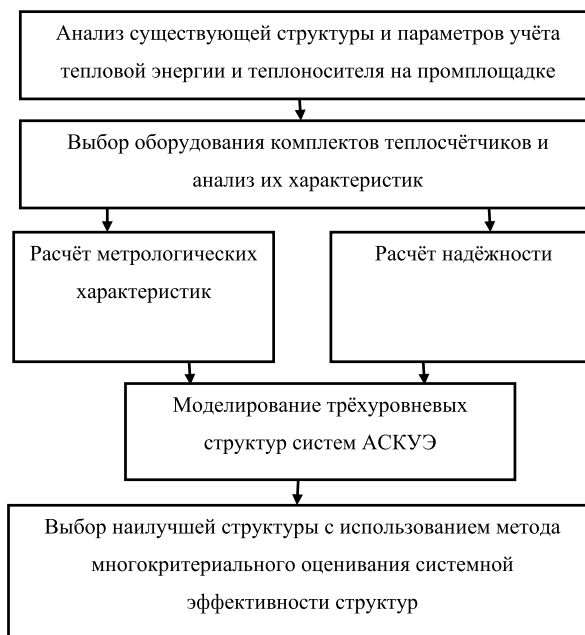


Рис. 2. Алгоритм формирования структуры

систем теплоснабжения в состав комплекта теплосчетчика входит: тепловычислитель, два термопреобразователя сопротивления, два преобразователя избыточного давления и два преобразователя расхода.

Таблица 1

Комплекты теплосчетчиков для АСКУЭ

Наименование оборудования	Схемы							
	G <sub>1</sub>	G <sub>2</sub>	G <sub>3</sub>	G <sub>4</sub>	G <sub>5</sub>	G <sub>6</sub>	G <sub>7</sub>	G <sub>8</sub>
	«Взлет»		«Теплоком»		«Промсервис»		«Карат»	
Тепловычислитель	ТСР-024М		ВКТ-7М-01		СПТ943		КАРАТ-307-6V6T6P-RS485	
Термопреобразователь	ТСП		КТСП-Н		КТС-Б		КТС-Б	
Расходомер	МР УРСВ-520Ц		ПРЭМ		ЭМИР ПРАМЕР		КАРАТ 551	
Датчик давления	СДВ		СДВ		СДВ		СДВ	
Кабель FTP 4x2x0,52	+	-	-	+		+	+	-
Кабель КИПЭВ 4x2x0,6	+	+	+	+	+	+	+	+
Коммутатор 8-портовый EDS-208A	+	-	-	+	-	+	+	-
Преобразователь NPORT 5450	+	-	-	+	-	+	+	-
Модем ONCELL G3150A-LTE-EU	-	+	+	-	+	-	-	+

Комплекты теплосчётчиков подбирались с учетом передачи информации с использованием двух типов связи: проводной Ethernet и беспроводной по GSM каналу. Варианты подобранных комплектов теплосчётчиков приведены в табл. 1.

Из табл. 1 видно, что комплекты приборов с проводной передачей, кроме самого теплосчётчика, включают в себя коммутатор 8-портовый EDS-208A и преобразователь NPORT 5450, а с беспроводной передачей – модем ONCELLG3150A-LTE-EU.

Оборудование выбранных производителей внесено в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений.

Для проверки соответствия Правилам учета тепловой энергии [2] подобранных теплосчетчиков, согласно Методике [3], определены значения погрешностей с использованием эксплуатационных инструкций оборудования, размещённых на официальных сайтах производителей. Результаты расчёта погрешностей представлены в табл. 2.

Из табл. 2 видно, что наименьшая погрешность у комплекта теплосчётчика ЗАО «Взлет» –  $\pm 2,37\%$ , а наибольшая у комплекта ООО «Карат» –  $\pm 2,81\%$ , что не превышает допустимой  $\pm 4\%$ . У теплосчётчиков ООО «Теплоком» и ООО «Промсервис» погрешности примерно равны и составляют  $\pm 2,72\%$  и  $\pm 2,73\%$  соответственно. Все рассматриваемые комплекты теплосчётчиков соответствуют требованиям Правил [4].

Теплосчетчики ООО «Промсервис» и ООО «Теплоком» устанавливались в каждом тепловом пункте потребителя из-за ограниченного расстояния (до 50 м) передачи сигнала от датчиков к вычислителю. Теплосчётчики ЗАО «Взлет» и ООО «Карат» устанавливались на двух-трех тепловых пунктах из-за возможности передачи сигнала с датчиков на вычислитель до 200 м. На следующем этапе выполняется оценка надежности теплосчетчиков.

### Расчет доли негодных теплосчётчиков на основе статистических данных

Руководствуясь статистическими данными [5] о количестве негодных приборов из комплектов теплосчетчиков марок ЗАО «Взлет», ООО «Теплоком», ООО «Промсервис» и ООО «Карат», при помощи эталонных установок проводилась поверка комплектов оборудования. По результатам поверки были получены доли негодных приборов: тепловычислителей –  $P_{ТВ} = 0,228$ , преобразователей расхода –  $P_P = 0,1848$ , преобразователей температуры –  $P_T = 0,109$ , преобразователей избыточного давления –  $P_D = 0,197$ . Доли негодных комплектов для определенного набора теплосчетчика рассчитывались по следующим формулам:

– для теплосчетчиков ООО «Промсервис» и ООО «Теплоком» на одного потребителя, в составе: тепловычислитель, два датчика давления, два расходомера и согласованная пара термопреобразователей сопротивления:

$$\sqrt{P_{ТВ}^2 + 2P_P^2 + 2P_T^2 + 2P_D^2} = 0,4714; \quad (2)$$

– для теплосчетчиков ЗАО «Взлет» на двух потребителей в составе: тепловычислитель, четыре датчика давления, четыре расходомера и два комплекта согласованных пар термопреобразователей сопротивления:

$$\sqrt{P_{ТВ}^2 + 4P_P^2 + 4P_T^2 + 4P_D^2} = 0,6262; \quad (3)$$

– для теплосчетчиков ЗАО «Взлет» и ООО «Карат» на трёх потребителей в составе: тепловычислитель, шесть датчиков давления, шесть расходомеров и три комплекта согласованных пар термопреобразователей сопротивления:

$$\sqrt{P_{ТВ}^2 + 6P_P^2 + 6P_T^2 + 6P_D^2} = 0,7497. \quad (4)$$

Таблица 2

Расчёт погрешностей приборов

Производитель	Погрешность приборов, %			
	вычислитель	термопреобразователь	расходомер	теплосчётчик
ЗАО «Взлет»	$\pm 0,53$	$\pm 0,58$	$\pm 1,26$	$\pm 2,37$
ООО «Теплоком»	$\pm 0,55$	$\pm 0,65$	$\pm 1,52$	$\pm 2,72$
ООО «Промсервис»	$\pm 0,58$	$\pm 0,73$	$\pm 1,42$	$\pm 2,73$
ООО «Карат»	$\pm 0,58$	$\pm 0,73$	$\pm 1,5$	$\pm 2,81$
Допустимая величина погрешности прибора	-	-	$\pm 3,5$	$\pm 4$

По результатам расчета можно сделать вывод, что с повышением количества оборудования в составе теплосчетчика повышается и доля негодных комплектов. Надежность сравниваемых комплектов теплосчетчиков значительно отличается, но не превышает максимального предельного значения, равного 1.

### Моделирование многоуровневых структур АСКУЭ

Многоуровневые АСКУЭ, согласно [6], имеют следующую структуру:

1) нижний уровень – приборы, которые осуществляют измерения по местам учета – комплекты теплосчетчиков, установленные в индивидуальных тепловых пунктах;

2) средний уровень – устройства сбора и передачи информации, позволяющие осуществлять круглосуточный сбор данных по учету, накопление, обработку и передачу на следующие уровни на автоматизированное рабочее место (АРМ) отдела энергоснабжения; АРМ службы энерговодоснабжения (ЭВС), АРМ диспетчерской службы (филиала), сервер базы данных (SQL);

3) верхний уровень – персональные компьютеры, осуществляющие обработку, отображение, архивирование и анализ данных учета АРМ главного энергетика.

С использованием методологии теории графов [1] смоделированы восемь многоуров-

невых схем автоматизированных систем учета тепловой энергии и теплоносителя.

Во всех структурах информация о расходе, температуре и давлении от датчиков  $g_1-g_n$  к тепловычислителям  $f_1-f_n$  передается по кабелю КИПЭВ  $4 \times 2 \times 0,6$ .

В структурах  $G_1, G_4, G_6, G_7$  отличающихся комплектами теплосчетчиков, приведенными в табл. 1, реализована проводная передача информации. В структуре  $G_1$ , приведенной на рис. 3, с датчиков  $g_1-g_{270}$  передается информация на 18 тепловычислителей ТСП-024М ЗАО «Взлёт»  $f_1-f_{18}$  и по интерфейсу RS485 с использованием кабеля FTP  $4 \times 2 \times 0,52$  на 8-портовые коммутаторы EDS-208A. Из-за значительного удаления потребителей друг от друга и возможности передачи сигнала по интерфейсу RS485 до 1500 м размещается на промплощадке шесть 8-портовых коммутаторов EDS-208A –  $e_1-e_6$ . К каждому коммутатору подключается по три тепловычислителя. После каждого коммутатора EDS-208A устанавливаются преобразователи MOXANPORT 5450 для преобразования интерфейса RS485 в Ethernet.

Размещаются коммутаторы и преобразователи интерфейсов в существующих зданиях на территории промплощадки. Затем информация с каждого из шести преобразователей MOXANPORT 5450 передается на четыре коммутатора EDS-208A  $c_1-c_4$  установленных в сер-

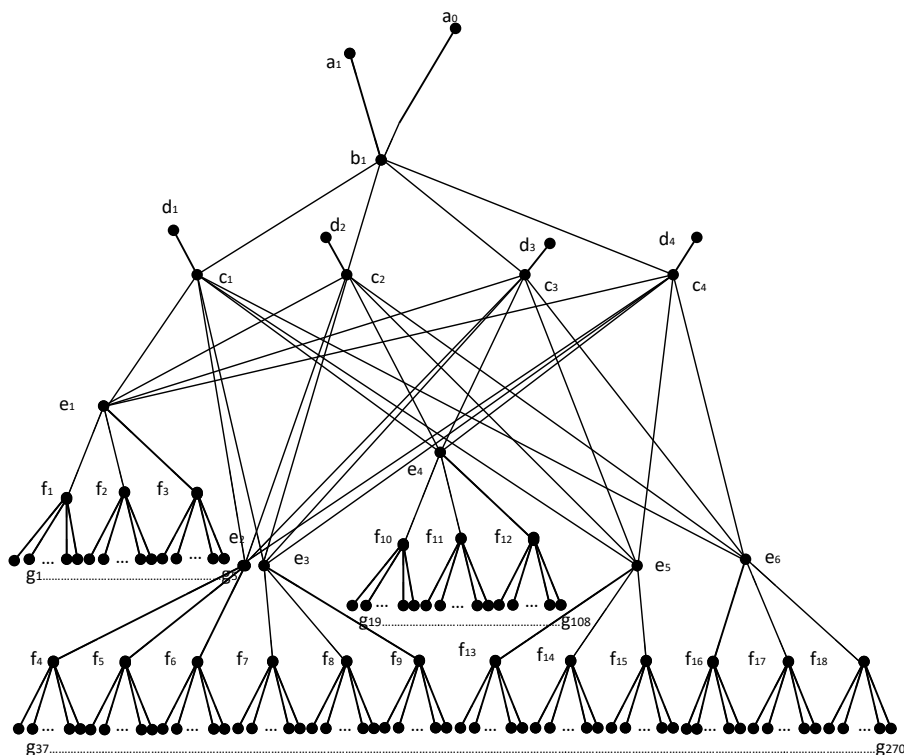


Рис. 3. Структура АСКУЭ с передачей данных по RS485/Ethernet –  $G_1$

верной СЭРБа промплощадки, к которым по локальной сети подключены компьютеры:  $d_1$  – АРМ отдела энергоснабжения;  $d_2$  – АРМ службы энергоснабжения (ЭВС), АРМ диспетчерской службы (филиала),  $d_4$  – сервер базы данных (SQL). На верхний уровень – АРМ главного энергетика  $a_0$  и  $a_1$  – АРМ диспетчерской службы (дочернего общества) информация передается посредством коммутатора EDS-208A –  $b_1$  по сети Ethernet из серверной промплощадки с четырёх коммутаторов EDS-208A –  $c_1$ – $c_4$ .

Графы структур  $G_4, G_6, G_7$  отличаются от  $G_1$  количеством вычислителей: 45 –  $G_4, G_6$  и 15 –  $G_7$ . Математическая запись структур графов представлена в зависимостях (5), (6), (7) и (8).

$$G_1 = \{a_0, a_1, b_1, c_1 \dots c_4, d_1 \dots d_4, e_1 \dots e_{18}, f_1 \dots f_{18}, g_1 \dots g_{270}\}, \quad (5)$$

$$G_4 = \{a_0, a_1, b_1, c_1 \dots c_4, d_1 \dots d_4, e_1 \dots e_{15}, f_1 \dots f_{45}, g_1 \dots g_{270}\}, \quad (6)$$

$$G_6 = \{a_0, a_1, b_1, c_1 \dots c_4, d_1 \dots d_4, e_1 \dots e_{15}, f_1 \dots f_{45}, g_1 \dots g_{270}\}, \quad (7)$$

$$G_7 = \{a_0, a_1, b_1, c_1 \dots c_4, d_1 \dots d_4, e_1 \dots e_{15}, f_1 \dots f_{15}, g_1 \dots g_{270}\}. \quad (8)$$

В структурах  $G_2, G_3, G_5, G_8$  представлены модели систем с дистанционным типом передачи информации при помощи подключенного к теплосчетчику GSM-модема.

В структуре  $G_2$ , представленной на рис. 3, число датчиков  $g_1$ – $g_{270}$  и принцип передачи сигналов на вычислители  $f_1$ – $f_{18}$  аналогичен схеме  $G_1$ , так как используется такая же модель – TCP-024M

ЗАО «Взлёт». Информация с вычислителей передается 18 GSM-модемами ONCELLG3150A –  $e_1$ – $e_{18}$  в серверную, где принимается модемами  $b_1, c_1$ – $c_4$  и передается на компьютеры работников:  $d_1$  – АРМ отдела энергоснабжения,  $d_2$  – АРМ службы ЭВС,  $d_3$  – АРМ диспетчерской службы (филиала),  $d_4$  – сервер базы данных (SQL).

На всех рассматриваемых в работе схемах вершина  $a_0$  обозначает АРМ главного энергетика,  $a_1$  – АРМ диспетчерской службы (дочернего общества),  $g_1$ – $g_{270}$  – датчики расхода, давления и температуры, установленные на трубопроводах тепловых сетей.

Структуры  $G_3, G_5, G_8$  отличаются от  $G_2$  количеством вычислителей: 45 –  $G_3, G_5$  и 15 –  $G_8$ . Математическая запись структур графов представлена в зависимостях (9), (10), (11) и (12).

$$G_2 = \{a_0, a_1, b_1, c_1 \dots c_4, d_1 \dots d_4, e_1 \dots e_{18}, f_1 \dots f_{18}, g_1 \dots g_{270}\}, \quad (9)$$

$$G_3 = \{a_0, a_1, b_1, c_1 \dots c_4, d_1 \dots d_4, e_1 \dots e_{45}, f_1 \dots f_{45}, g_1 \dots g_{270}\}, \quad (10)$$

$$G_5 = \{a_0, a_1, b_1, c_1 \dots c_4, d_1 \dots d_4, e_1 \dots e_{45}, f_1 \dots f_{45}, g_1 \dots g_{270}\}, \quad (11)$$

$$G_8 = \{a_0, a_1, b_1, c_1 \dots c_4, d_1 \dots d_4, e_1 \dots e_{15}, f_1 \dots f_{15}, g_1 \dots g_{270}\}. \quad (12)$$

Выбранные комплекты теплосчетчиков соответствуют Правилам [2]. Величина погрешности теплосчетчиков не коррелируется с их надёжностью в процессе эксплуатации. Наименьшая погрешность у теплосчетчиков ЗАО «Взлёт» ( $\pm 2,37$ ) при самой низкой надёжности (0,7497).

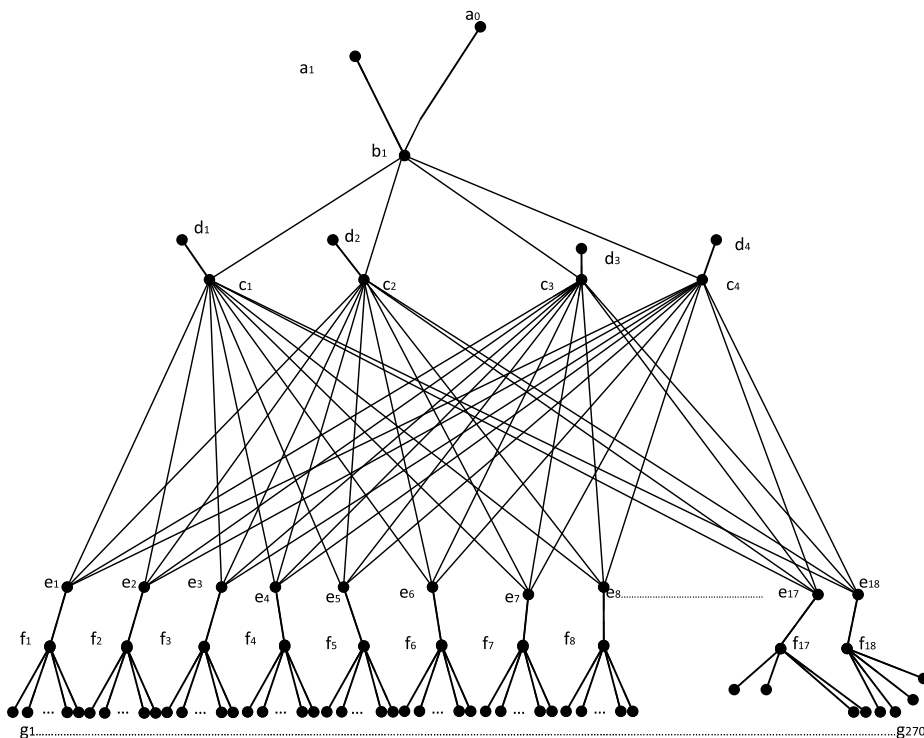


Рис. 4. Структура АСКУЭ с передачей данных по беспроводной сети GSM –  $G_2$

Сформировано восемь трёхуровневых линейных структур АСКУЭ. Для выбора АСКУЭ, при многообразии на рынке измерительных и вычислительных приборов, отличающихся способами измерения и передачи информации, необходимо проведение системного анализа структур с использованием метода многокритериального оценивания системной эффективности структур [7] (рис. 5).

В основе метода многокритериального оценивания системной эффективности структур лежит четырехуровневая иерархическая модель:

1) На четвертом уровне – определяются характеристики структуры, которые зависят от выбора типа используемого оборудования.

2) На третьем уровне при помощи методологии теории графов из множества характеристик формируются частные критерии для оценки сравниваемых систем.

3) На втором уровне из частных критериев формируются группы критериев, и по каждой группе при помощи методологии DEA [7] определяются обобщенные показатели.

4) Первый уровень – определение глобального показателя сравнительной эффективности структур.

Согласно данному методу для рассматриваемых структур АСКУЭ получены частные критерии, разбитые на группы: сбалансированность, надежность, управляемость, экономические показатели (табл. 3).

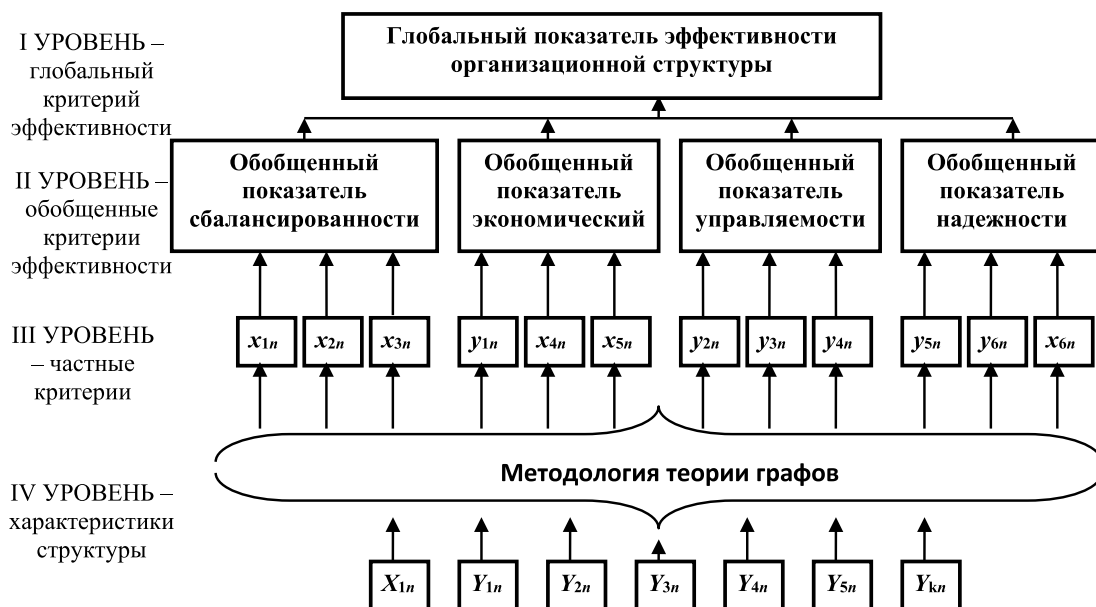


Рис. 5. Иерархическая модель оценивания сравнительной эффективности организационной структуры

Анализ сбалансированности показал, что наиболее сбалансированы структуры  $G_4$  и  $G_6$  (15), а наименее –  $G_3$  (45).

В группе экономических критериев наилучшие показатели у восьмой схемы, худшие у третьей схемы. По остальным группам критериев значения частных критериев противоречивы и не позволяют выбрать наилучший вариант схемы.

Проведенный анализ критериев по группам не позволил определить наилучшую структуру, поэтому, используя метод многокритериального оценивания системной эффективности структур, сформируем математическую модель (рис. 6) для определения глобального показателя эффективности для каждой структуры:

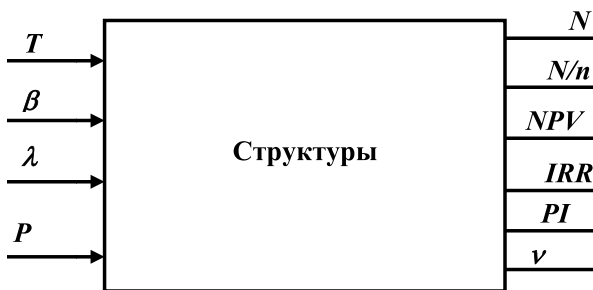


Рис. 6. Математическая модель решения задачи методом DEA для нахождения глобального показателя эффективности

Таблица 3

## Частные критерии структур АСКУЭ

Группа	Критерии	Структура								Целевая функция
		G <sub>1</sub>	G <sub>2</sub>	G <sub>3</sub>	G <sub>4</sub>	G <sub>5</sub>	G <sub>6</sub>	G <sub>7</sub>	G <sub>8</sub>	
Сбалансированность	Максимальная информационная нагрузка	18	18	45	15	20	15	18	18	Min
	Степень неравномерности информационной нагрузки	18	18	45	15	20	15	18	18	Min
Управляемость	Число каналов управления	322	370	505	385	430	370	365	355	Max
	Соотношение числа каналов управления и вершин	1,06	1,17	1,36	1,13	1,26	1,13	1,21	1,14	Max
	Число контуров управления	19	55	55	46	91	46	66	46	Max
Надежность	Число реберной связности	1	1	1	1	1	1	1	1	Max
	Число внутренней устойчивости	274	274	274	274	274	274	274	274	Max
	Число внешней устойчивости	31	43	52	67	67	52	27	37	Min
	Доля негодных приборов	0,75	0,75	0,22	0,22	0,63	0,63	0,85	0,85	Min
Экономические показатели	Чистая приведенная стоимость NPV, тыс. руб.	-2367	-1988	-4614	-3400	800	-292	1815	2602	Max
	Внутренняя ставка доходности IRR, %	6,5	7	4	5	11	9	13	15	Max
	Индекс доходности PI	0,77	0,8	0,64	0,7	1,1	0,96	1,24	1,39	Max
	Дисконтированный срок окупаемости T, лет	24	21	33	27	14	16	12	10	Min



$$f_n = \max \frac{1}{v_1 \cdot \lambda} + (u_1 \cdot N + u_2 \cdot N/n + v \cdot u_3) + \frac{1}{\beta \cdot v_2 + P \cdot v_3} + \frac{NPV \cdot u_4 + IRR \cdot u_5 + PI \cdot u_6}{T \cdot v_4}, \quad (13)$$

где  $u_1, u_2, u_3, u_4, u_5, u_6, v_1, v_2, v_3, v_4$  – весовые коэффициенты.

Выходные факторы:  $N$  – число каналов управления;  $N/n$  – соотношение числа каналов управления и вершин;  $v$  – число контуров управления;  $IRR$  – внутренняя ставка доходности;  $NPV$  – чистая приведенная стоимость;  $PI$  – индекс доходности.

Входные параметры:  $\bar{\lambda}$  – степень неравномерности информационной нагрузки;  $\beta$  – число внешней устойчивости;  $p$  – доля негодных приборов;  $T$  – дисконтированный срок окупаемости.

Учет максимизации и минимизации параметров осуществляется в системе в MSExcel с использованием функции «Поиск решения». Результатом решения восьми оптимизационных нелинейных задач являются значения глобального показателя  $f_n$  для каждой схемы. Влияние входных и выходных критериев учитывает значение полученных весовых коэффициентов. Чем ближе значение глобального показателя  $f_n$  к единице, тем приоритетнее выбор данной схемы относительно других.

На рис. 7 видно, что глобальный показатель сравнительной эффективности наибольший у структур  $G_3, G_5, G_7$  ( $f_n = 1$ ). Рассматриваемые структуры на базе комплектов теплосчетчиков ООО «Теплоком», ООО «Промсервис» и ООО «Карат» соответственно. Системы АСКУЭ на базе комплектов теплосчетчиков марки ЗАО «Взлет» (структуры  $G_1, G_2$ ) имеют низкие значения глобального показателя  $f_n$  и далее не рассматриваются.

Структура  $G_3$  отличается лучшими показателями надежности и управляемости – это ее преимущество. Структура  $G_7$  отличается высокой надежностью и хорошими экономическими показателями.

Структура  $G_5$  обладает так же, как и  $G_3$ , высокой надежностью, но уступает ей по показателям управляемости.

Выбор наилучшего варианта структуры за лицом, принимающим решение. Если важно минимизировать затраты на модернизацию и обеспечить быстрый срок окупаемости, то необходимо выбрать структуру  $G_7$ , если требуется высокая надежность и управляемость, то структуру  $G_3$ .

**Выводы.** 1. Разработан подход к формированию и выбору оптимальных систем АСКУЭ, обеспечивающих постоянный мониторинг качества теплоснабжения потребителей и своевременного выявления утечек для любых систем теплоснабжения.

2. Предложенный в работе подход применим ко всем типам систем теплоснабжения с большим количеством потребителей, расположенных на значительном расстоянии от теплоисточника.

3. Системный подход позволил выполнить комплексную оценку эффективности функционирования системы АСКУЭ предприятия с учетом многих факторов: сбалансированность, надежность, управляемость, экономические показатели, учитывающие адаптивность структур к изменениям внешней среды.

4. Предложенный алгоритм формирования многоуровневой иерархической модели выбора оборудования для системы АСКУЭ позволяет провести сравнительный анализ систем и выбор наилучшей с учётом приоритетов лица, принимающего решение.

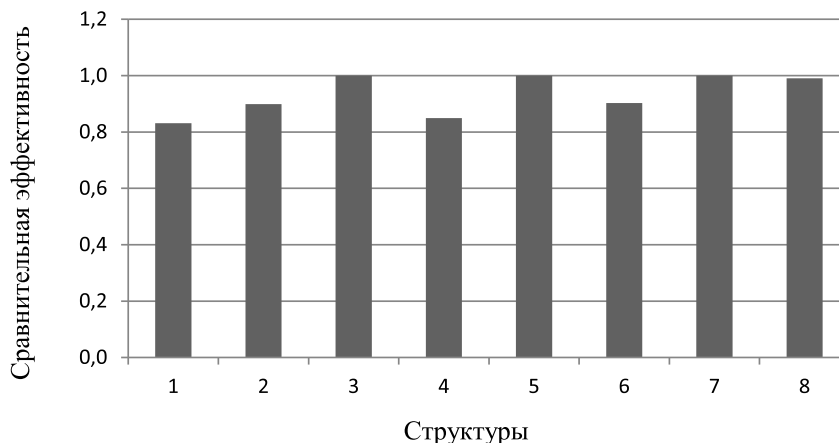


Рис. 7. Глобальный показатель сравнительной эффективности

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. О теплоснабжении: федер. закон Рос. Федерации от 27.07.2010 № 190-ФЗ // Рос. газ. 2010. 30 июля.
2. Об утверждении Правил технической эксплуатации тепловых энергоустановок: приказ Минэнерго России от 24.03.2003 № 115 // Рос. газ. 2003. 16 сентября.
3. О коммерческом учёте тепловой энергии, теплоносителя: постановление Правительства Рос. Федерации от 18.11.2013 № 1034 // Рос. газ. 2013. 21 ноября.
4. *Посашков М.В., Немченко В.И.* Многокритериальная оценка эффективности организационной структуры газораспределительной организации // Газовая промышленность. М.: ООО «Газойл пресс». 2014. № 1/701. С. 16–21.
5. СТО Газпром 2-1.15-878-2014. Основные положения по автоматизации объектов энергетики, утвержденные распоряжением ОАО «Газпром» от 24.11.2014 № 293.
6. *Харари Ф.* Теория графов. М.: Мир, 1973. 301 с.
7. *Дилигенский Н.В., Посашков М.В.* Методы системного анализа для многокритериального оценивания и повышения энергетической эффективности объектов и систем децентрализованного теплоснабжения // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Самара: СамНЦ РАН, 2011. Т. 13 (39), № 4(4). С. 949–956.
8. Методика осуществления коммерческого учета тепловой энергии, теплоносителя. Зарегистр. в Минюсте России 12.09.2014 г. № 34040В.
9. *Немченко В.И., Посашков М.В., Крайнов О.К., Бодягин А.А., Зубков Д.Н.* Сравнительный анализ приборного парка коммерческого учета тепловой энергии в Самаре // Градостроительство и архитектура. 2019. Т.9, № 1. С. 25–32. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.01.5.

Об авторах:

**ПОСАШКОВ Михаил Викторович**

кандидат технических наук, доцент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194 E-mail: b111ik@mail.ru

**НЕМЧЕНКО Владимир Иванович**

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры управления и системного анализа теплоэнергетических и социотехнических комплексов Самарский государственный технический университет 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244 E-mail: nemchenko\_vi@mail.ru

Для цитирования: *Посашков М.В., Немченко В.И.* Системный подход к моделированию автоматизированной системы контроля и учёта тепловой энергии // Градостроительство и архитектура. 2019. Т.9, № 3. С. 40–49. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.03.6.

For citation: *Posashkov M.V., Nemchenko V.I.* System Approach to the Modeling of Automated Control Systems and Thermal Energy Metering // Urban Construction and Architecture. 2019. V.9, 3. Pp. 40–49. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.03.6.

## REFERENCES

1. The federal law of Russian Federation No. 190-FL. About at the supply. Moscow, Standartinform Publ., 2010. 40 p. (In Russian)
2. The rule of technical operation of thermal power stations: Moscow, Standartinform Publ., 2003. 100 p. (In Russian)
3. About commercial accounting of the thermal energy and the heat carrier. Moscow, Standartinform Publ., 2013. 53 p. (In Russian)
4. Posashkov M.V., Nemchenko V.I. Multi criteria assessment of organizational effectiveness of the gas-distributing organization. *Gazovaya promyshlennost'* [A gas industry], 2014, no. 1/701/2014, pp. 16-21. (In Russian)
5. STO Gazprom 2-1.15-878-2014 Original positions on the automations of objects of a power engineering. JSC Gazprom, Publ., 2014. 30 p. (In Russian)
6. Harare F. *Teoriya grafov* [Graph theory]. Moscow, Publ., 1973. 301 p.
7. Diligensky N.V., Nemchenko V.I., Posashkov M.V. Methods of systems analysis for the multi criteria estimation and increase in power effectiveness of objects and systems decentralized heat supply. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk* [News the Samara scientific center of the Russian Academy of Sciences], 2011, no. 4(4). pp. 949-956. (In Russian)
8. Technique of exercise of commercial accounting of thermal energy, heat carrier. Moscow, Standartinform Publ., 2014. 45 p. (In Russian)
9. Nemchenko V.I., Posashkov M.V., Krainov O.K., Bodyagin A.A., Zubkov D.N. The comparative analysis of the instrument park of commercial accounting of thermal energy in Samara. *Gradostroitel'stvo i arkhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2019, no. 1, pp. 25-32. (In Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2019.01.5.

**POSASHKOV Mikhail V.**

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Heat and Gas Supply and Ventilation Chair Samara State Technical University Academy of Architecture and Civil Engineering 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194 E-mail: b111ik@mail.ru

**NEMCHENKO Vladimir I.**

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Management and Systems Analysis of Thermal Power and Socio-Technical Complexes Chair Samara State Technical University 443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244 E-mail: nemchenko\_vi@mail.ru