

**Стоянов Ф.А***Харьковский национальный университет строительства и архитектуры***Стоянов Л.Ф.***Харьковский машиностроительный техникум***КОМПЛЕКСНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ**

Рациональное использование топливно-энергетических ресурсов – один из наиболее важных принципов экономической политики каждого государства, особенно в условиях недостатка топлива, устаревшего оборудования котельных, ТЭЦ и тепловых сетей. Решение этой задачи практически невозможно без применения современных компьютерных технологий для создания высокоэффективного теплоэнергетического оборудования и оптимального управления им. В связи с этим целью настоящей работы является создание алгоритмов, программных комплексов и режимно-технологических карт для оптимального проектирования и управления системами теплоснабжения [1÷4].

Все оптимизационные задачи в настоящей работе решались с применением одного из методов нелинейного математического программирования – метода Нелдера-Мида [5].

*Задачи оптимального проектирования систем теплоснабжения.*

Формальная постановка задачи оптимального проектирования выглядит следующим образом. Необходимо найти конфигурацию технической системы (системы теплоснабжения), которая бы обеспечивала минимум годовых приведенных затрат в стоимостном исчислении  $Z$ , гривен/год.

В связи с большим количеством параметров, управляющих конфигурацией технической системы, оптимизационная задача решается на двух иерархических уровнях (рисунок 1), в процессе реализации ряда итераций, которые определяются индексами I, II и так далее.

На первом уровне определяются величины диаметров подводящего и отводящего трубопроводов тепловой сети [1,6] ( $r_{k,под}, r_{k,отв}, k=\overline{1,1}, l=10$ ), обеспечивающих минимум годовых приведенных затрат  $Z$ , гривен/год. Здесь  $l$  – количество участков трубопровода ( $l=10$ ), а  $k$  – номер участка. Задача решается для заданного температурного графика.

Опыт показал,  $r_{k,под} \approx r_{k,отв}$ , поэтому принимаем  $r_{k,под} = r_{k,отв} = r_k$ . Величина  $\delta_{k,под} = \delta_{k,под,нач}$  и  $\delta_{k,отв} = \delta_{k,отв,нач}$  при решении задачи первого уровня заданы и зафиксированы (рисунок 1). Здесь  $\delta_{k,под}$  и  $\delta_{k,отв}$  – толщины изоляции подающего и отводящего трубопроводов. Математическая постановка этой задачи имеет вид.

Найти

$$\min Z(r_k), k=\overline{1,1}, l=10 \quad (1)$$

$$r_k \in \Omega$$

Область  $\Omega$  определяется соотношениями

$$r_{k,под} = r_{k,отв} = r_k, \quad (2)$$

где  $r_k$  определяется составом базы данных, состоящей из 21 типоразмера, соответствующих размерам  $r_k$ .

При оценке  $Z(r_k)$  учитывались следующие виды потерь в трубопроводной системе: тепловые потери, гидравлические потери на перекачку теплоносителя, а также потери, связанные с капиталовложениями. Результаты решения задачи приведены в табл. 1. Так, например, при  $r_2 = 12$  (что соответствует диаметру 0,48 м) величина  $Z$  является минимальной.

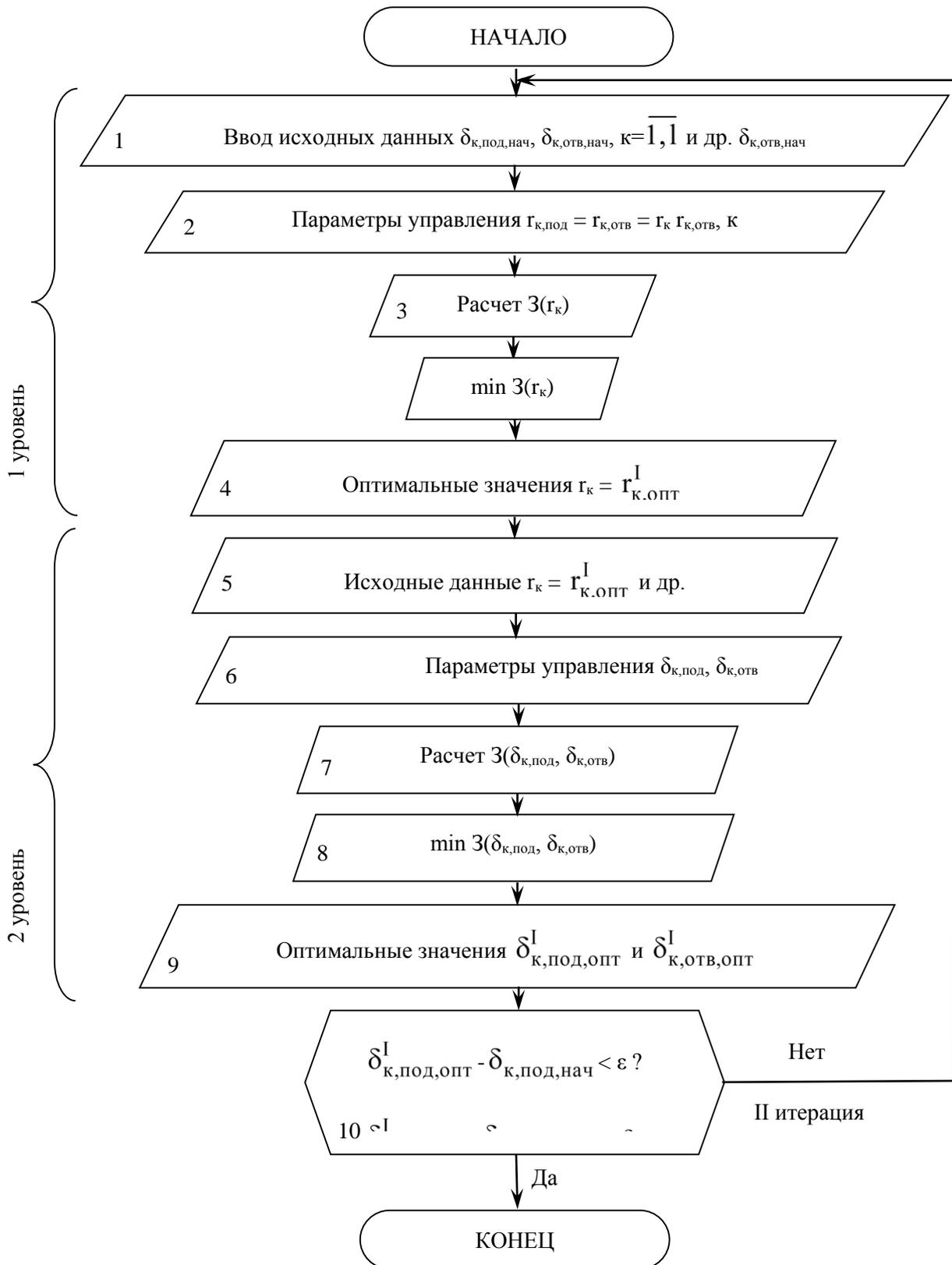


Рис. 1. Структурная схема декомпозиции общей оптимизационной задачи

Аналогичная оптимизационная задача была решена для  $\delta_{к,под}$  и  $\delta_{к,отв}$  [1,7] (задача второго уровня, рис. 1). Задача решалась при заданных значениях  $r_{к,под,опт}^I = r_{к,отв,опт}^I = r_{к,опт}^I$ , полученных при решении оптимизационной задачи первого уровня. В результате решения получаем  $\delta_{к,под,опт}^I$  и  $\delta_{к,отв,опт}^I$ . Здесь I – первая итерация решения задачи.

Если  $\delta_{к,под,опт}^I - \delta_{к,под,нач} < \varepsilon$  и  $\delta_{к,отв,опт}^I - \delta_{к,отв,нач} < \varepsilon$  (рис. 1), то оптимальные значения  $r_{к,под} = r_{к,отв} = r_{к,опт}$  и  $\delta_{к,под}$  и  $\delta_{к,отв}$  найдены (здесь  $\varepsilon$  – любое наперед заданное достаточно малое число). Если нет, то нужно перейти ко второй итерации. При этом в блоке 1 из схемы на рис. 1 вместо  $\delta_{к,под,нач}$  подставляем  $\delta_{к,под,опт}^I$ , а вместо  $\delta_{к,отв,нач}$  –  $\delta_{к,отв,опт}^I$ .

Таблица 1 - Зависимость  $Z$  от  $r_k, k=1,10$  в области экстремума

$r_1$ Z, грн/год	18 2767233	19 2719519	20 2713740	-	$r_k=r_1$
$r_2$ Z, грн/год	9 2727140	11 2720106	12 2713740	13 2720348	$r_k=r_2$
-	-	-	-	-	-
$r_9$ Z, грн/год	12 2737336	13 2723590	14 2713740	15 2713801	$r_k=r_9$
$r_{10}$ Z, грн/год	15 2854544	18 2720310	19 2713740	20 2721354	$r_k=r_{10}$

Задача выбора оптимальных значений  $r_{к, под, опт}$ ,  $r_{к, отв, опт}$ ,  $\delta_{к, под, опт}$  и  $\delta_{к, отв, опт}$  тесно связана с задачей выбора оптимального температурного графика [8].

На первом уровне решения этой задачи задаемся начальными значениями  $r_{к,под,нач} = r_{к,отв,нач} = r_{к,нач}$ ,  $\delta_{к,под,нач}$ ,  $\delta_{к,отв,нач}$  и находим величины расходов теплоносителя на выходе из котельной  $G_{опт}$ , кг/с, и его температуру  $t_{опт}$ , обеспечивающие минимум годовых приведенных потерь в магистральных теплопроводах (то есть получаем оптимальный температурный график).

Зная величины  $G_{опт}$  и  $t_{опт}$  и решив соответствующую оптимизационную задачу, рассмотренную выше, находим оптимальные значения  $r_{к,под,опт}^I = r_{к,отв,опт}^I = r_{к,опт}^I$ ,  $\delta_{к,под,опт}^I$  и  $\delta_{к,отв,опт}^I$  (Здесь I – первая итерация решения задачи).

Далее, если  $(r_{к,нач} - r_{к,опт}^I) < \varepsilon$ ;  $(\delta_{к,под,нач} - \delta_{к,под,опт}^I) < \varepsilon$ ;  $(\delta_{к,отв,нач} - \delta_{к,отв,опт}^I) < \varepsilon$ , то процесс оптимизации

завершен. Если нет, то необходимо выполнить вторую итерацию, где  $\delta_{к,под,нач}$  и  $\delta_{к,отв,нач}$  заменим на  $\delta_{к,под,опт}^I$  и  $\delta_{к,отв,опт}^I$  соответственно (аналогично поступаем с  $r_k$ ).

На следующем этапе решается задача выбора оптимального состава оборудования отопительных котельных и ТЭЦ [1]. Получив оптимальную конфигурацию отопительной системы (включая размеры диаметров труб и состав оборудования, а также оптимальный температурный график), можно перейти к решению задачи оптимального управления.

*Решение задачи оптимального управления системой теплоснабжения.*

В качестве объекта исследования рассматривается отопительная котельная, состоящая из 4 котлов ПТВМ-100 ( $j=1,4$ ), три первых из которых работают на газе, а последний- на угле.

Формальная постановка задачи оптимального управления выглядит следующим образом. Для заданной температуры наружного воздуха  $t_{нв}, C^{\circ}$ , (или  $i$ , таблица 2) найти величины тепловых нагрузок на каждый из котлов  $Q_{i,j,опт}$ , МВт, обеспечивающие минимум потерь в системе в стоимостном исчислении  $K_i$ , гривен/МДж. При расчете учитываются потери с выходящими газами, потери на перекачку теп-

лоносителя через котел и систему трубопроводов и др. Математическая постановка этой задачи выглядит следующим образом (в качестве примера выберем  $t_{нв} = -25 C^{\circ}$ ,  $i=1$ , таблица 2).

Найти

$$\min K_1(Q_{1,j}), j=\overline{1,4}, \quad (3)$$

$Q_{1,j} \in \Omega$   
Или, для различных значений  $i$

Таблица 2 - Количество часов за отопительный сезон  $\Delta t_i$ , соответствующих заданным  $t_{нв,i}$ .

№ участка, $i$	1	2	3	4	5	6	7
$t_{нв,i}, C^{\circ}$	-25	-20	-15	-10	-5	0	10
$\Delta t_i$ , час	47	125	246	487	829	1299	1887

Таблица 3 - Результаты расчетов (файл "result")  
Состав и текущее состояние котельной в течение отопительного сезона (1-котел включен,0-выключен)

№ п/п	Марка котла	Состояние	Оптимальная нагрузка на котел, МВт
$t_{нв}= 10.00 C^{\circ}, i=7$			
1	ПТВМ-100	0	выключен
2	ПТВМ-100	1	35.01
3	ПТВМ-100	1	34.999
4	ПТВМ-100 УГ++	0	выключен
$t_{нв}= .00 C^{\circ}, i=6$			
1	ПТВМ-100	1	49.68
2	ПТВМ-100	1	49.77
3	ПТВМ-100	1	49.69
4	ПТВМ-100 УГ++	0	выключен
-----			
$t_{нв}= -20.00 C^{\circ}, i=2$			
1	ПТВМ-100	1	79.89
2	ПТВМ-100	1	79.98
3	ПТВМ-100	1	79.98
4	ПТВМ-100 УГ++	1	67.58
$t_{нв}=-25.00 C^{\circ}, i=1$			
1	ПТВМ-100	1	91.76
2	ПТВМ-100	1	91.03
3	ПТВМ-100	1	91.76
4	ПТВМ-100 УГ++	1	71.45

$\min K_i(Q_{i,j}), j=\overline{1,4}, i=\overline{1,7},$   
 $Q_{i,j} \in \Omega$   
где множество  $\Omega$  определяется соотношением

$$\sum_{j=1}^4 Q_{i,j} = Q_i, i=\overline{1,7}. \quad (4)$$

Здесь  $Q_i, \overline{1,7}$ , МВт – общая нагрузка на котельную при разных  $t_{нв}$ .

Результаты решения этой задачи приведены в таблице 3. Так, например, для  $i=6$  имеем  $Q_{6,1,опт} = 49,68$  МВт;  $Q_{6,2,опт} = 49,76$  МВт;  $Q_{6,3,опт} = 49,69$  МВт;  $Q_{6,4,опт} = 0$ .

Годовые приведенные потери в системе определяются соотношением

$$K = \sum_{i=1}^7 K_{i,min} \cdot \Delta t_i \cdot Q_i \cdot 3600. \quad (5)$$

Здесь  $\Delta t_i$ , часов – продолжительность работы отопительной системы при температуре наружного воздуха, соответствующей  $i$  (табл. 1).

По формуле (5) были проведены расчеты для оценки влияния цены газа  $C_g$ , гривен/м<sup>3</sup>, и цены угля  $C_{уг}$ , гривен/кг, на экономические характеристики системы теплоснабжения. Результаты исследований приведены на рисунке 2. Здесь представлены зависимости  $K = K(C_g)$  при постоянной цене на уголь  $C_{уг} = 1,4$  гривен/кг.

На этом рисунке точка А ( $C_g = 1,7$  гривен/м<sup>3</sup>) является граничной. Левее ее более рационально использовать газ (меньше потери  $K$ ), а правее – уголь. Аналогичная задача об оптимальном распределении нагрузок между энергогенерирующими агрегатами отопительных котельных и ТЭЦ в условиях транспортного запаздывания теплоносителя решена в работе [4].

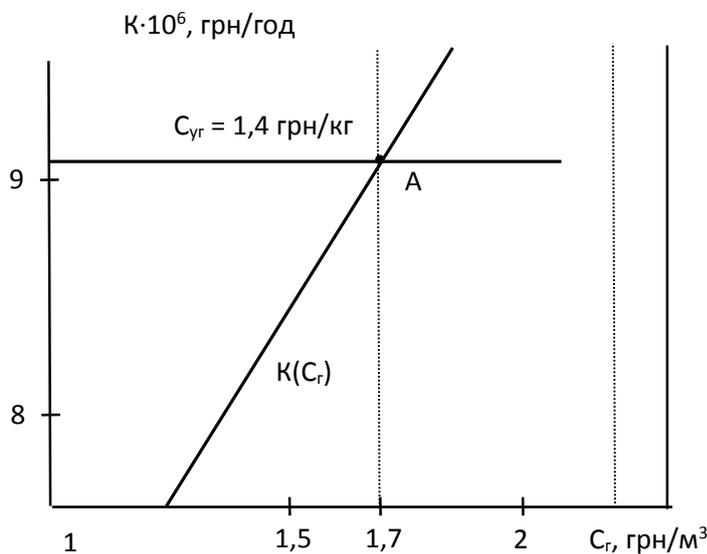


Рис. 2. Зависимость  $K$ , гривен/год от  $C_g$ , грн/м<sup>3</sup>

**Вывод.**

Предложены методы и программно-вычислительные комплексы, позволяющие научно обоснованно сформировать конфигурацию системы теплоснабжения, оптимально управлять процессом выработки теплоты и выбирать топливо при реконструкции котельных.

**ЛИТЕРАТУРА:**

1. Стоянов Ф.А., Андреев С.Ю., Шевченко Л.П. Методы системного анализа в задачах оптимального проектирования централизованных систем теплоснабжения: Учебное пособие для ВУЗов.- Харьков: Золотые страницы, 2005,- 140 с.

2. Андреев С.Ю., Ноженко Ю.П. Рациональное распределение нагрузок между энергогенерирующими агрегатами. Материалы III всеукраинской научно-практической конференции.- Алушта: ХО НГТ КГ и ПО, ХНАМГ, 2007.- С. 35-41.

3. Тарадай А.М., Кириленко И.Г., Редько А.Ф., Яременко М.А. Тенденция развития централизованного и децентрализованного теплоснабжения // Науковий вісник будівництва.- Харьков: ХГТУСиА, ХОТВАБУ. - № 45, 2008.- С. 182-186.

4. Андреев С.Ю., Стоянов Ф.А., Андреев А.Ю., Шевченко Л.П. Оптимальное управление централизованными системами теплоснабжения с учетом транспортного запаздывания теплоносителя // Учебное посо-

- бие для ВУЗов.- Харьков: «Золотые страницы», 2006.
5. Химмельблау Д. Прикладное нелинейное программирование.- М.: Мир, 1975.- 536 с.
  6. Андреев С.Ю. Выбор оптимальных диаметров трубопроводов тепловых сетей при их реконструкции: Науковий вісник будівництва: Харків.- ХДТУБіА, ХОТВАБУ.- № 9, 2000.- С. 195-198.
  7. Андреев С.Ю. Выбор оптимальных толщин изоляции трубопроводов тепловых сетей при их реконструкции.- Коммунальное хозяйство городов: Респ. межвед. научн.- тех. сб.- К.: Техніка. - № 23, 2000.- С. 150-153.
  8. Федоров А.П. Выбор оптимальных величин режимных характеристик магистрального теплопровода // Коммунальное хозяйство городов: Респ. межвед. научн.- тех. сб.- К.: Техніка. - № 18, 1999.- С. 133-137.

УДК 621.002.5:006.354

**Андон'єв В.С., Романтовський В.І., Пуль В.М., Уланченко І.І., Басова Н.М.,  
Гладкоскок В.П., Свиначенко М.С.**

*Харківський національний університет будівництва та архітектури*

### **ПРИНЦИПИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ ЯК ДЖЕРЕЛА ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ**

Світова тенденція збільшення частки покриття загального енергоспоживання за рахунок альтернативних джерел досі не стала визначальною для енергетичного балансу України. Це пояснюється кількома чинниками:

- наявністю зручних та економічно вигідних джерел енергії;
- рівнем цін на традиційні, в першу чергу, органічні джерела енергії;
- довгостроковою енергетичною політикою держави, у т. ч. заохочувальними заходами для стимулювання розвитку і впровадження альтернативних джерел тепла, а точніше їх цілковитою відсутністю.

Україна не має у достатній кількості із потрібними параметрами більшої частини з переліку найбільш поширених в світі альтернативних джерел. Сонячна енергетика може у перспективі розвиватися лише у південних регіонах, до того ж у неї є серйозний недолік: можливість отримання сонячної енергії знижується до мінімуму саме тоді, коли вона найбільше потребується, тобто у зимовий період. Припливні електростанції можна будувати лише для узбережжя у регіонах, де не існує небезпеки замерзання у зимовий пе-

ріод. Вітрові електрогенератори виправдують себе у місцевості з постійним рухом повітряних мас.

Таким чином, теплонасосні установки (ТНУ) для України є чи не єдиним універсальним варіантом альтернативного енергозабезпечення.

Проте й дотепер вони не набули відчутного поширення в Україні порівняно не тільки з найбільш розвиненими країнами (США, Канада, Німеччина, Швеція) [1], але й навіть сусідніми державами з менш сприятливими кліматичними умовами. В першу чергу це пояснюється відсутністю стимулювання з боку держави впровадження саме таких альтернативних рішень, що сприяють енергетичній незалежності країни.

За таких умов принципового значення набуває пошук таких переваг у техніко-економічних показниках роботи ТНУ, які можуть зробити їх впровадження більш привабливим для інвесторів, оскільки за витратами теплопостачання від ТНУ програє теплопостачання від газових теплогенераторів в умовах, близьких до українських, приблизно вдвічі [2]. Для України ситуацію ускладнює ще й регулярний дисбаланс тарифів на енергоносії та комунальні послуги. Наприклад, на січень 2015