

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ КАПИТАЛЬНЫХ ВЛОЖЕНИЙ ПРИ МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ФУНКЦИЙ

А.В. Бондарев, к.т.н., ВА МТО, Санкт-Петербург
Б.И. Морозов, к.т.н., зам. директора, ОАО «Авангард», Санкт-Петербург
С.Н. Смолинский, нач., ВИ(ИТ) ВА МТО, Санкт-Петербург
Е.М. Росляков, д.т.н., проф. кафедры, ВКА, Санкт-Петербург, Санкт-Петербург

Представлены результаты сравнительной оценки эффективности капитальных вложений при модернизации систем теплоснабжения с котельными, оснащенными котлами высокотемпературного кипящего слоя. Оценка выполнена по методике, основанной на использовании универсальной диаграммы кривых замещения материальных ресурсов, построенной на основе расчетов двухфакторных производственных функций Кобба–Дугласа.

В настоящей работе представлены результаты апробации методики сравнительной оценки эффективности капитальных вложений при модернизации систем теплоснабжения при строительстве и реконструкции угольных котельных на основе теории производственных функций. [1–3].

Методика была разработана для решения практических задач выбора приоритетного варианта модернизации систем теплоснабжения на стадии принятия решения о выделении бюджетного финансирования применительно к объектам Департамента эксплуатационного содержания и обеспечения коммунальными услугами Министерства обороны Российской Федерации (ДЭС и ОКУ МО РФ).

Напомним, что разработанная методика основана на использовании универсальной диаграммы кривых замещения материальных ресурсов, построенной на основе расчетов модифицированных двухфакторных производственных функций Кобба–Дугласа. Вид таких функций получен в результате следующих преобразований.

Для удобства и наглядности при проведении инженерных расчетов для сравнения характеристик разных групп систем теплоснабжения (СТС) и выбору наилучшего варианта целесообразно перейти к представлению функций замещения материальных ресурсов в относительных вели-

чинах. Такой переход осуществляется следующим образом. Запишем уравнения функции Кобба–Дугласа для двух значений годовых эксплуатационных расходов котельной одной из рассматриваемых групп:

— для некоторого исходного («базового») варианта СТС с параметрами C_0 , K_0 и C_{M0} :

$$C_0 = AK_0^\alpha C_{M0}^\beta; \quad (1)$$

— для любого другого варианта СТС этой группы с параметрами C , K и C_M :

$$C = AK^\alpha C_M^\beta. \quad (2)$$

Разделив (2) на (1), получим:

$$\frac{C}{C_0} = \frac{AK^\alpha C_M^\beta}{AK_0^\alpha C_{M0}^\beta}. \quad (3)$$

Предполагается, что значения K , K_0 , C_M и C_{M0} относятся к одинаковым («базовым») условиям, что обеспечивает равенство коэффициентов A , α и β . Рассматривая это соотношение для кривой замещения (изокванты), при $C = \text{const}$, имеем $C = C_0$ и тогда:

$$1 = \left(\frac{K}{K_0}\right)^\alpha \left(\frac{C_M}{C_{M0}}\right)^\beta. \quad (4)$$

Из этого выражения получим уравнение кривой замещения в относительных координатах K/K_0 , C_M/C_{M0} :

$$\frac{K}{K_0} = \left(\frac{C_{M0}}{C_M}\right)^{\frac{\beta}{\alpha}}, \quad (5)$$

где C_M , C_{M0} — годовые приведенные расходы рассматриваемого и базового вариантов системы теплоснабжения; K , K_0 — капитальные затраты на строительство или реконструкцию рассматриваемого и базового вариантов системы теплоснабжения; α , β — параметры функций

Таблица 1

Значения параметров однофакторных производственных функций для систем теплоснабжения с различными группами котельных установок и подземным бесканальным типом прокладки тепловых сетей

Группы систем теплоснабжения (СТС)	Вид топлива	Прокладка тепловых сетей в сухих грунтах		Прокладка тепловых сетей в мокрых грунтах	
		A ₁	n ₁	A ₁	n ₁
Котельные установки с котлами ВТКС	Уголь	2797,6	-0,032	2989,9	-0,022
Котельные установки с механизированными котлами	Уголь	4212,8	-0,326	4380,2	-0,295
Котельные установки с котлами ручного обслуживания	Уголь	1835,1	-0,096	2031,2	-0,074
Котельные установки низкого давления малой мощности	Мазут	1571,2	-0,016	1765,2	-0,004

Кобба–Дугласа (коэффициенты эластичности составляющих материальных ресурсов).

Отметим, что величина β/α характеризует соотношение материальной составляющей годовых эксплуатационных расходов и составляющей, зависящей от капитальных вложений. Соотношение β/α существенно зависит от типа котлов (паровые, водогрейные), мощности котельной (малая, до нескольких МВт или средняя, несколько десятков МВт), вида топлива (уголь, газ, мазут), и типа прокладки тепловых сетей (бесканальная, в непроходных каналах, надземная).

Для системы теплоснабжения военного городка с угольной котельной, в которой установлены 10 котлов марки Э5Д2 с ручным обслуживанием, работающих на угле, установленной мощностью 7 МВт (6 Гкал/ч) при наличии изношенных тепловых сетей с бесканальной прокладкой в мокрых грунтах, предлагаются следующие варианты модернизации системы теплоснабжения:

1. Вариант модернизации системы теплоснабжения со строительством новой автоматизированной котельной с 4 котлами КВП-1,74 ВТКС высокотемпературного кипящего слоя установленной мощностью 6 Гкал/ч, с укрытым механизированным угольным складом, механическими системами углеподачи и шлакозолоудаления и заменой тепловых сетей с бесканальной прокладкой в мокрых грунтах.

2. Вариант модернизации системы теплоснабжения со строительством новой

автоматизированной котельной с 4 механическими котлами ТШПм-1,5 с шурующей планкой установленной мощностью 6 Гкал/ч, с укрытым механизированным угольным складом, механическими системами углеподачи и шлакозолоудаления и заменой тепловых сетей с бесканальной прокладкой в мокрых грунтах.

3. Вариант модернизации системы теплоснабжения со строительством новой котельной с ручными слоевыми котлами и заменой тепловых сетей с бесканальной прокладкой в мокрых грунтах.

Для каждого из рассмотренных вариантов были определены соотношения капитальных затрат К/К₀ с использованием однофакторных производственных функций для удельных показателей вида:

$$k_{уд} = A_1 Q_{уст}^{n_1}, c_{уд} = A_4 Q_{уст}^{n_2}, z_{уд} = A_5 Q_{уст}^{n_3}. \quad (6)$$

Таблица 2

Значения капитальных затрат для различных вариантов модернизации СТС

Вариант реконструкции	В сухих грунтах			В мокрых грунтах		
	Бесканальная	В непроходных каналах	Надземная	Бесканальная	В непроходных каналах	Надземная
3,5 МВт						
1	12975,71	15393,79	13856,03	14069,11	18150,39	14791,23
2	11012,66	13430,74	11892,98	12106,06	16187,34	12828,18
3	10609,61	13027,69	11489,93	11703,01	15784,29	12425,13
4	8405,66	10823,74	9285,98	9499,06	13580,34	10221,18
5	7708,31	10126,39	8588,63	8801,71	12882,99	9523,83
5,2 МВт						
1	19047,44	22819,32	20286,86	20738,50	27196,58	21736,00
2	16519,01	20290,89	17758,43	18210,07	24668,15	19207,57
3	15999,99	19771,87	17239,41	17691,05	24149,13	18688,55
4	13050,24	16822,12	14289,66	14741,30	21199,38	15738,80
5	11880,83	15652,71	13120,25	13571,89	20029,97	14569,39
7,0 МВт						
1	23267,86	28531,62	24851,72	25611,62	34725,92	26864,72
2	20629,42	20290,89	22213,28	22973,18	32087,48	24226,28
3	20087,75	19771,87	21671,61	22431,51	31545,81	23684,61
4	16857,86	16822,12	18441,72	19201,62	28315,92	20454,72
5	14666,60	15652,71	16250,46	17010,36	26124,66	18263,46
8,7 МВт						
1	27087,54	33801,74	28967,24	30060,94	41786,84	31527,04
2	24496,27	31210,47	26375,97	27469,67	39195,57	28935,77
3	23905,24	30619,44	25784,94	26878,64	38604,54	28344,74
4	20590,17	27304,37	22469,87	23563,57	35289,47	25029,67
5	17098,77	23812,97	18978,47	20072,17	31798,07	21538,27
10,5 МВт						
1	30619,60	38905,60	32785,70	34271,30	48852,10	35936,50
2	28002,20	36288,20	30168,30	31653,90	46234,70	33319,10
3	27464,80	35750,80	29630,90	31116,50	45697,30	32781,70
4	24088,10	32374,10	26254,20	27739,80	42320,60	29405,00
5	20546,10	28832,10	22712,20	24197,80	38778,60	25863,00

Таблица 3

Проценты составляющих текущих материальных расходов

Группы систем теплоснабжения (СТС)	Вид топлива	Доли составляющих текущих материальных расходов				
		на топливо $C_t/C_m, \%$	на электроэнергию $C_{эл}/C_m, \%$	на воду $C_v/C_m, \%$	на заработную плату $C_{з.п.}/C_m, \%$	общекотельных и др. $C_{общ.}/C_m, \%$
СТС с котельными установками с котлами ВТКС	Уголь	40–60 60–80	10–12 8–9	9–12 7–10	10–15 6–9	7–10 4–6
СТС с котельными установками с механизированными котлами	Уголь	35–50 50–70	7–12 6–8	10–14 8–10	12–20 9–12	8–12 6–8
СТС с котельными установками с котлами ручного обслуживания	Уголь	35–45 45–60	7–11 4–8	8–12 8–12	25–35 20–30	9–12 10–13
СТС с котельными установками низкого давления малой мощности	Мазут	45–50 50–55	4–5 3–4	9–12 7–9	30–35 25–30	10–12 8–10

Примечание. 1. В таблице указаны значения долей составляющих текущих материальных расходов для различной тепловой мощности системы теплоснабжения:
 — в числителе, при установленной тепловой мощности $Q_{ст}$ до 5 МВт;
 — в знаменателе, при установленной тепловой мощности $Q_{ст}$ от 5 до 15 МВт.
 2. Значения долей в пределах указанных интервалов следует принимать:
 — для расходов на топливо и воду, при большей мощности — большее значение;
 — для других расходов, при большей мощности — меньшие значения.

Значения коэффициентов в формулах (6) приведены в табл. 2.

Для удобства использования значения капитальных затрат для различных вариантов модернизации систем теплоснабжения протабулированы. В частности, капитальные затраты в базовых ценах 2000 г. для различных вариантов модернизации систем теплоснабжения с применением котельных, оснащенных котлами высокотемпературного кипящего слоя приведены в табл. 2

Для каждого из рассмотренных вариантов определены соотношения $C_m/C_{мо}$ полученные с использованием данных табл. 3.

По соотношениям K/K_0 и $C_m/C_{мо}$ на диаграмме изоквант (рисунок) нанесены три рабочие точки, соответствующие рассмотренным вариантам модернизации систем теплоснабжения. Напомним, что рабочая кривая (пунктирная линия) на диаграмме выбрана на основании соотношения β/α , полученного из табл. 4 для исходного варианта СТС.

Расположение рабочих точек, соответствующих сравниваемым вариантам, относительно рабочей кривой позволил сделать следующие практические выводы.

1. Рабочая точка 1 (вариант 1) расположена в области диаграммы ниже рабочей кривой. Это значит, что срок окупаемости реконструкции будет меньше нормативного, а предложенный вариант реконструкции будет экономически выгодным.

2. Рабочая точка 2 (вариант 2) также находится в области диаграммы ниже рабочей кривой, это значит, что предложенный вариант реконструкции будет также экономически выгодным. Однако данная рабочая точка находится на диаграмме ближе к рабочей кривой замещения, чем рабочая точка для первого варианта. Следовательно, вариант 2 будет менее эффективным, чем вариант 1.

3. Рабочая точка 3 (вариант 3) находится в области диаграммы выше рабочей кривой. Это значит, что срок окупаемости будет больше нормативного, а предложенный вариант реконструкции будет экономически невыгодным.

Из положения рабочей точки 3 на рисунке следует, что для снижения срока окупаемости ниже

Таблица 4

Показатели степени β/α в уравнениях изоквант для приведенных затрат СТС

Группы систем теплоснабжения (СТС)	Вид топлива	Тип прокладки тепловой сети					
		бесканальная в сухих грунтах	бесканальная в мокрых грунтах	в непроходных каналах в сухих грунтах	в непроходных каналах в мокрых грунтах	надземная в сухих грунтах	надземная в мокрых грунтах
СТС с котельными установками с котлами ВТКС	Уголь	0,87	0,75	0,63	0,40	0,84	0,74
СТС с котельными установками с механизированными котлами	Уголь	1,69	1,46	1,22	0,78	1,63	1,43
СТС с котельными установками с котлами ручного обслуживания	Уголь	2,44	2,11	1,78	1,26	2,19	1,94
СТС с котельными установками низкого давления малой мощности	Мазут	1,55	1,1	0,69	0,16	1,21	0,88

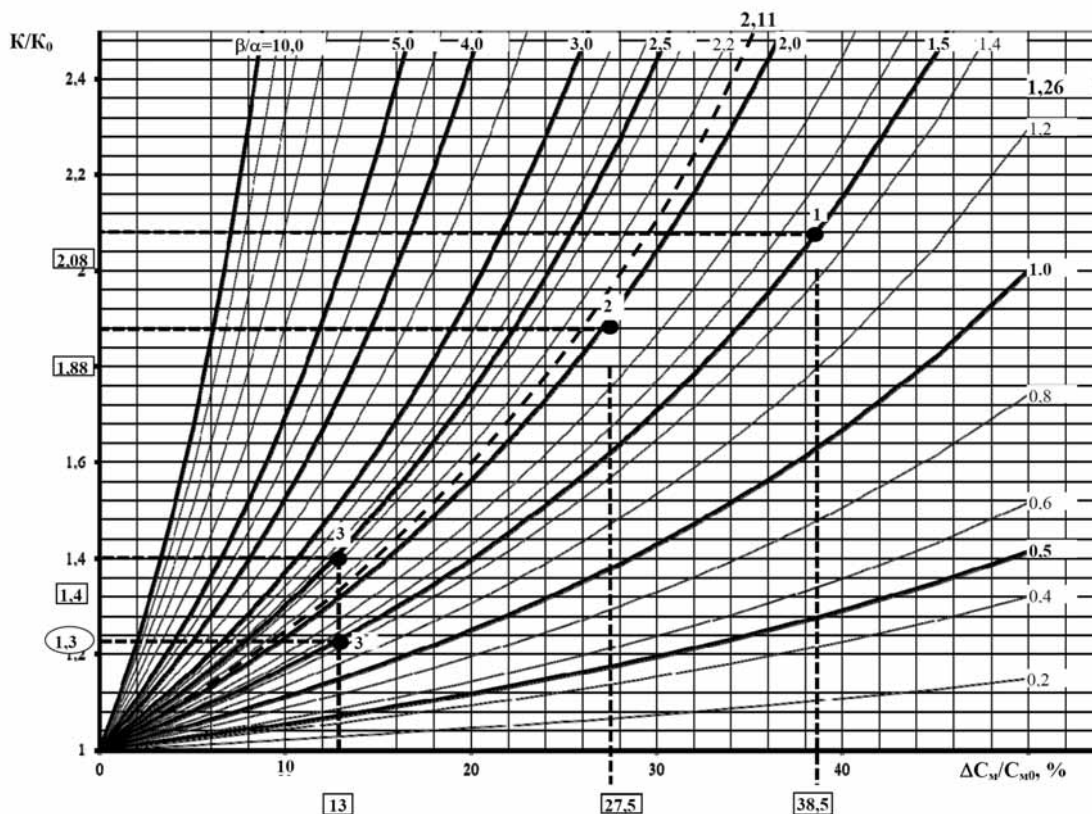


Диаграмма кривых замещения (изоквант)
для двухфакторной функции Кобба–Дугласа вида $C = A(pK)^{\alpha}C_M$

нормативного необходимо снизить капитальные затраты на модернизацию системы теплоснабжения при сохранении соотношения C_M/C_{M0} .

Следует отметить, что окупаемость капитальных затрат в данном варианте реконструкции получается в основном за счет экономии топлива вследствие снижения тепловых потерь в тепловых сетях примерно на 15–20 %. Строительство новой котельной не даст какой-либо существенной экономии топлива, т. к. вместо существующих изношенных котлов с ручными топками устанавливаются аналогичные новые котлы с ручными топками с практически таким же КПД. Следовательно, снижать составляющую капитальных затрат на реконструкцию тепловых сетей нецелесообразно. Поэтому снижение капитальных затрат на модернизацию систем теплоснабжения

целесообразно осуществлять за счет снижения капитальных затрат только на строительство котельной. Например, в условиях дефицита средств можно при модернизации котельной заменить только котлы и насосную группу без реконструкции существующего здания котельной. Если снизить капитальные затраты на 30 %, то получим величину $K/K_0 = 1,3$, при этом рабочая точка (точка 3*) занимает положение ниже рабочей кривой со сроком окупаемости капитальных вложений ниже нормативного.

Таким образом, использование диаграммы дает возможность анализировать разные варианты модернизации систем теплоснабжения, в зависимости от располагаемых объемов и графика финансирования строительства.

Литература

1. Смолинский С.Н. К вопросу технико-экономической оценки модернизации систем теплоснабжения с автоматизированными угольными котельными с котлами высокотемпературного кипящего слоя // Военный инженер. — 2017. — № 2 (4). — С. 42–47.
2. Смолинский С.Н. Оценка технико-экономической эффективности модернизации систем теплоснабжения с автоматизированными котельными с котлами вы-

сокотемпературного кипящего слоя в сб. трудов Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. — Санкт-Петербург, 2017. — № 656.

3. Бондарев А.В., Морозов Б.И., Смолинский С.Н. Оценка технико-экономической эффективности реконструкции систем теплоснабжения с применением угольных котлов высокотемпературного кипящего слоя // Двигателестроение. — 2017. — № 4. — С. 34–40.