

ОЦЕНКА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕКОНСТРУКЦИИ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ УГОЛЬНЫХ КОТЛОВ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО КИПЯЩЕГО СЛОЯ

*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*

Выполнен анализ технического состояния систем теплоснабжения (СТС) в муниципальных и ведомственных образованиях РФ. Разработаны мероприятия по совершенствованию СТС в процессе реконструкции и модернизации котельных установок с применением котлоагрегата высокотемпературного кипящего слоя КВП-1,74 ВТКС для сжигания твердого топлива в автоматическом режиме. Представлена методика экспресс-оценки выбора экономически целесообразного варианта реконструкции СТС на основе теории производственных функций.

Теплоснабжение существенной части муниципальных образований и ведомственных объектов осуществляется от отопительных котельных установок и тепловых сетей. Из общего числа котельных в системах теплоснабжения значительная часть приходится на низкоэффективные угольные котельные с неудовлетворительными экономическими и экологическими показателями: КПД 40–50 %, выбросы вредных веществ, включая золы и сажи, значительно превышающие предельно-допустимые концентрации. Такие котельные укомплектованы котлами со слоевыми ручными топками с отсутствием какой-либо механизации и автоматизации технологических процессов, топливоподготовки, топливоподдачи, горения, шлакозолоудаления, газоочистки.

Только на объектах министерства обороны число низкоэффективных угольных и жидкотопливных котельных превышает 2500, при этом более 500 котельных по данным ПАО «Газпром» не подлежат газификации из-за значительной удаленности от магистральных и сетевых газопроводов.

Тепловые сети, находящиеся в неудовлетворительном состоянии, создавались во второй половине XX века, требуют замены и технической модернизации. Функционирование старых сетей характеризуются повышенными потерями теплоты через изношенную тепловую изоляцию, низкой надежностью с частыми аварийными разрывами

трубопроводов, что сопряжено со значительным экономическим ущербом.

Данное состояние систем теплоснабжения требует комплексной модернизации, включающей строительство или реконструкцию угольных котельных и тепловых сетей с применением новых энергоэффективных технологий и оборудования.

Одним из наиболее перспективных направлений модернизации и технического перевооружения существующих угольных котельных является применение технологии сжигания угля в высокотемпературном «кипящем» слое (ВТКС). Котлоагрегаты КВП-1,74-ВТКС с высокотемпературным кипящим слоем с узкой наклонной подвижной колосниковой решеткой единичной мощностью 1,5 Гкал/ч (1,74 МВт) сертифицированы и могут серийно применяться при строительстве и реконструкции угольных котельных. За счет увеличения КПД в два раза (до 80 %) при использовании котлов ВТКС можно ожидать снижение расходов на топливо на 50 %, что сократит сроки окупаемости капитальных вложений до 4 лет.

В настоящее время на кафедре двигателей и тепловых установок ВИ(ИТ) ВА МТО накоплен значительный опыт разработки и промышленного изготовления высокоэффективных, автоматизированных котлоагрегатов КВП-1,74-ВТКС, а также опыт проектирования, строительства и реконструкции угольных котельных с применением этих котлоагрегатов. Результаты исследований по данному направлению нашли отражение в работах ученых кафедры, возглавляемой д.т.н., профессором А.В. Смирновым [3, 4].

Наряду с научно-техническими разработками высокоэффективных, автоматизированных котлоагрегатов с топками кипящего слоя на кафедре разработаны типовые проектные решения по компоновке оборудования, а также по расположению на генеральном плане зданий и сооружений котельных. В состав котельной установки входит здание котельной, механизированный укрытый угольный склад с мостовым краном, грейферным ковшом и дробильным отделением, механизированные системы топливоподдачи и

шлакозолоудаления скребкового типа, система газоочистки.

До настоящего времени в МО РФ только на двух пилотных объектах построены котельные с котлами высокотемпературного кипящего слоя КВП-1,74-ВТКС — в экспериментальной механизированной угольной котельной п. Горская, Ленинградской области и в теплоэнергетическом учебно-исследовательском комплексе, расположенном на полигоне ВИ(ИТ) в п. Приветнинское Ленинградской области [2].

На рис. 1 приведены общий вид котельной установки с продольным, параллельным и поперечным расположением котельной и угольного склада. Компоновка оборудования, транспортеры подачи угля и шлакозолоудаления приведены на рис. 2.

С использованием этих проектных решений силами ООО «Тепломех» (Санкт-Петербург) разработана проектная и рабочая документации для строительства и реконструкции угольных котельных по технологии ВТКС для ряда объектов Ленинградской и Псковской областей, г. Барнаул (Алтайский край) и других регионов РФ.

Реконструкция угольных котельных по технологии ВТКС в зависимости от состояния и характеристик реконструируемой котельной может осуществляться по одному из вариантов, представленных в табл. 1.

Модернизация тепловых сетей включает замену трубопроводов на новые в современной ППУ изоляции, применение четырехтрубной схемы тепловой сети с современными средствами автоматического регулирования, в том числе с использованием частотных преобразователей, и др.

Модернизация систем теплоснабжения сопряжена со значительными капитальными затратами, составляющими для котельных до 13–20 млн руб. на 1 МВт установленной мощности, что сопоставимо с затратами на модернизацию тепловых сетей.

В табл. 2 приведены данные по капитальным затратам на реконструкцию действующих котельных с применением технологии ВТКС.

В сложившихся экономических условиях получение бюджетного (и внебюджетного) финансирования для строительства и реконструкции систем теплоснабжения маловероятно, если речь идет о

значительных единовременных капитальных затратах. В этих условиях становится актуальной задача определения первоочередных приоритетных объектов для строительства и реконструкции, а также задача выбора приоритетного варианта проектного решения.

При рассмотрении нескольких вариантов реконструкции сравнительная оценка эффектив-

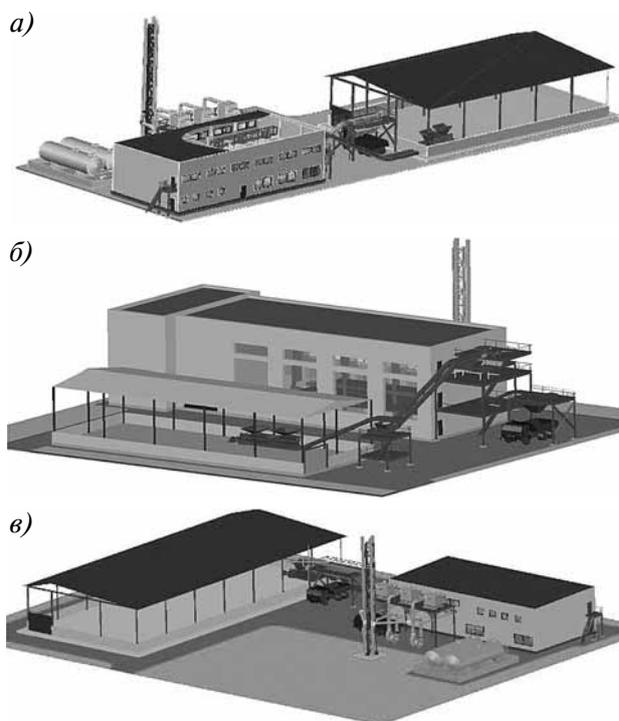


Рис. 1. Общий вид котельной:

а — с продольным расположением котельной и угольного склада; б — параллельным расположением котельной и угольного склада; в — поперечным расположением котельной и угольного склада

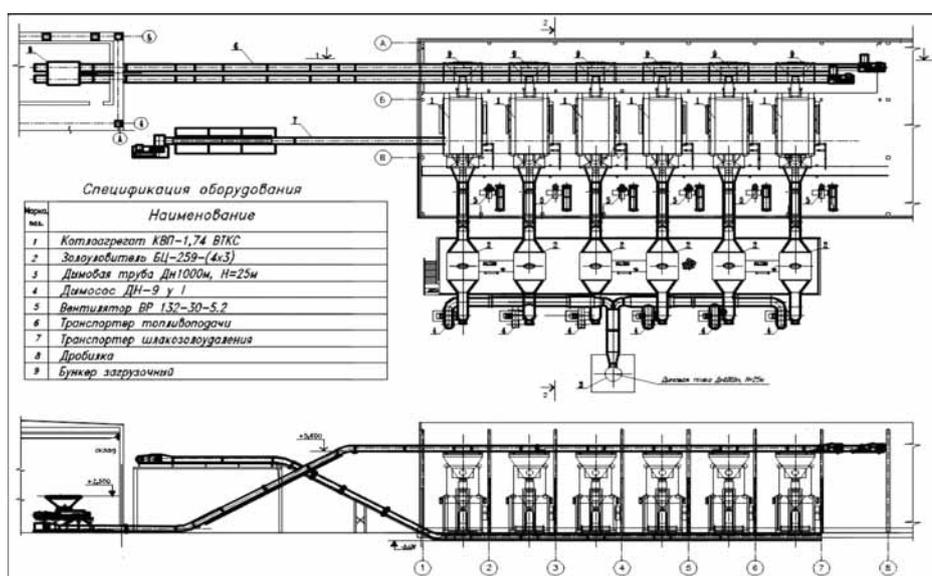


Рис. 2. Компоновка оборудования, транспортеры углеподачи и шлакозолоудаления

Варианты реконструкции действующих котельных

Вариант	Существующие здания и оборудование	Строящиеся здания и оборудование
1		<ul style="list-style-type: none"> ➢ здание котельной; ➢ укрытый топливный склад; ➢ дымовая труба; ➢ система топливоподачи; ➢ система ШЗУ; ➢ система воздухоподачи и газоочистки; ➢ замена всего основного и вспомогательного оборудования; ➢ замена инженерных систем котельной
2	<ul style="list-style-type: none"> ➢ здание котельной 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ укрытый топливный склад; ➢ дымовая труба; ➢ система топливоподачи; ➢ система ШЗУ; ➢ система воздухоподачи и газоочистки; ➢ замена всего основного и вспомогательного оборудования; ➢ замена инженерных систем котельной
3	<ul style="list-style-type: none"> ➢ здание котельной; ➢ укрытый топливный склад 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ дымовая труба; ➢ система топливоподачи; ➢ система ШЗУ; ➢ система воздухоподачи и газоочистки; ➢ замена всего основного и вспомогательного оборудования; ➢ замена инженерных систем котельной
4	<ul style="list-style-type: none"> ➢ здание котельной; ➢ укрытый топливный склад; ➢ дымовая труба; ➢ система топливоподачи; ➢ система ШЗУ; ➢ система воздухоподачи и газоочистки; 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ замена всего основного и вспомогательного оборудования; ➢ замена инженерных систем котельной; ➢ замена котлов на котлы КВП-1,74-ВТКС
5	<ul style="list-style-type: none"> ➢ здание котельной; ➢ укрытый топливный склад; ➢ дымовая труба; ➢ система топливоподачи; ➢ система ШЗУ; ➢ система воздухоподачи и газоочистки; ➢ вспомогательное оборудование; ➢ замена инженерных систем котельной 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ замена существующих котлоагрегатов на котлы КВП-1,74-ВТКС; ➢ замена электрооборудования котлов; ➢ замена системы автоматизации котлов

ности затрат известными методами на стадии «Технико-экономическое обоснование» или «Обоснование инвестиций», становится трудоемкой.

Для принятия оптимального решения о варианте реконструкции желательно иметь некий более упрощенный инструментарий, с помощью которого можно было бы выполнять сравнительный анализ без подробных расчетов всех необходимых технико-экономических показателей. Другими словами, представляется актуальной задача разработки экспресс-метода сравнительной технико-экономической оценки эффективности капитальных вложений при строительстве и реконструкции угольных котельных объектов МО РФ.

Первым положительным результатом в решении сформулированной задачи стали разработки Б.И. Морозова, выполненные на кафедре теплосиловых установок ВИТУ с использованием метода экономико-математического моделирования с нахождением математических зависимостей между основными показателями котельных, выраженных в виде производственных функций [5].

Применение этого метода позволяет решать задачи, связанные со взаимозамещаемостью и оптимальным распределением материальных ресурсов при проектировании и строительстве котельных установок, и другие более сложные, комплексные задачи, относящиеся к любым другим техническим системам.

Однако данные результаты были получены для отопительно-производственных котельных малой и средней мощности при работе на газе и мазуте. В них не отражены особенности технологических процессов, наличие нового оборудования и проектных решений, характерных для угольных котельных малой мощности при сжигании угля по технологии ВТКС.

На кафедре теплосиловых установок ВИТУ под руководством профессора А.В. Смирнова инженером И.С. Рода был собран и проанализирован обширный статистический материал по технико-экономическим показателям известных проектных решений реконструкции котельных с применением технологии ВТКС. С использованием результатов анализа были разработаны и рассчитаны однофакторные и двухфакторные производственные функции в виде семейства графических зависимостей (изоквант) удельных капитальных затрат и себестоимости выработанной теплоты.

С применением изоквант можно выполнять экспресс-оценку технико-экономических показателей только для строительства и реконструкции угольных котельных малой мощности с энергоэффективными котлами высокотемпературного кипящего слоя. При этом подразумевается, что управление работой таких котельных осуществ-

ляется оператором дистанционно со щита автоматики в соответствии с режимной картой. В этих щитах имеются органы управления подачей топлива, первичного и вторичного воздуха, разрежения, удаления шлака из топки котла. Однако ручное управление работой котла на переходных режимах может сопровождаться

Таблица 2

Капитальные затраты на реконструкцию действующих котельных

Вариант реконструкции	Сметная стоимость в тыс. руб. (в базовых ценах 2000 года)			
	Строительные работы	Монтажные работы	Оборудование	Всего
3,5 МВт 3,0 Гкал/ч				
1	2965,8	1306,95	4987,5	9260,25
2	1002,75	1306,95	4987,5	7297,2
3	599,7	1306,95	4987,5	6894,15
4	157,2	882,6	3650,4	4690,2
5	41,85	673,8	3277,2	3992,85
5,2 МВт 4,5 Гкал/ч				
1	3858,756	1844,922	7326,006	13029,68
2	1330,32	1844,922	7326,006	10501,25
3	811,302	1844,922	7326,006	9982,23
4	213,9	1231,788	5586,792	7032,48
5	63,756	717,6	5081,712	5863,068
7,0 МВт 6,0 Гкал/ч				
1	4089,33	2076,732	8458,758	14624,82
2	1450,89	2076,732	8458,758	11986,38
3	909,216	2076,732	8458,758	11444,71
4	224,154	1372,896	6617,772	8214,822
5	69,426	721,728	5232,402	6023,556
8,7 МВт 7,5 Гкал/ч				
1	4126,87	2308,46	9388,61	15823,94
2	1535,6	2308,46	9388,61	13232,67
3	944,57	2308,46	9388,61	12641,64
4	242,77	1531,31	7552,49	9326,57
5	71,72	678,15	5085,3	5835,17
10,5 МВт 9,0 Гкал/ч				
1	4094,6	2421,1	9941,2	16456,9
2	1477,2	2421,1	9941,2	13839,5
3	939,8	2421,1	9941,2	13302,1
4	250,9	1600,3	8074,2	9925,4
5	73,1	720,3	5590	6383,4

перерасходом топлива. Для повышения экономичности работы котлов на переходных режимах необходимо оснащение их современными программируемыми логическими контроллерами с использованием средств микропроцессорной техники и соответствующего программного обеспечения. Автоматизированная таким образом котельная может экономично работать в автоматическом режиме с минимальным числом эксплуатационного персонала. При несомненном повышении экономичности, и, как следствие, снижении годовых эксплуатационных расходов оснащение котельной средствами автоматизации повлечет за собой увеличение капитальных затрат, поэтому данное обстоятельство потребует уточнения разработанной методики экспресс-оценки.

Для решения сформулированной задачи по заданию ДЭС и ОКУ МО РФ в период с сентября 2016 г. и по декабрь 2017 г. выполнялась НИР (шифр «Энергоэффективность»).

В рамках данной НИР была разработана, разослана на 93 объекта МО РФ, собрана и обработана специальная опросная документация, на основании которой получена информация по технико-экономическим показателям существующих котельных и тепловых сетей по военным округам [2].

Статистическая обработка собранного материала позволила определить параметры двухфакторных производственных функций Кобба-Дугласа для систем теплоснабжения вида $C = A(pK)^\alpha C_M^\beta$.

Для удобства применения с помощью несложных преобразований была получена функциональная зависимость в виде

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

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 функции Кобба-Дугласа (коэффициенты эластичности по ресурсам).

Основной характеристикой, определяющей расположение изокванты на графиках, является величина отношения коэффициентов эластичности по ресурсам β/α . Значения этих отношений для различных групп котельных установок для годовых эксплуатационных расходов и приведенных затрат представлены в табл. 3.

На основе двухфакторных функций были определены отношения β/α для систем теплоснабжения. Значения их представлены в табл. 4.

Данные таблиц 3–4 в графической форме представлены на универсальной диаграмме кривых замещения материальных ресурсов (рис. 3).

Как видно из графиков, чем меньше величина отношения β/α , тем более полого располагается изокванта, а следовательно, меньшие дополнительные капитальные затраты должны компенсироваться большей экономией годовых материальных расходов. Для приведенных затрат величины β/α значительно меньше, чем для годовых эксплуатационных расходов (изокванты располагаются более полого), это определяет более рациональное использование дополнительных капиталовложений, связанное с нормативным сроком их окупаемости.

Таблица 3

Показатели степени β/α в уравнениях изоквант для различных групп котельных установок

Группа котельных установок	Вид топлива	Значение отношения β/α	
		для годовых эксплуатационных расходов	для приведенных затрат
Котельные установки с котлами ВТКС	Уголь	6,4	1,7
Котельные установки с механизированными котлами	Уголь	10,5	2,8
Котельные установки с котлами ручного обслуживания	Уголь	30,4	8,2
Котельные установки низкого давления малой мощности	Мазут	16,6	5,2

Таблица 4

Показатели степени β/α в уравнениях изоквант для годовых эксплуатационных расходов и 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	$\frac{2,98}{0,87}$	$\frac{2,50}{0,75}$	$\frac{2,01}{0,63}$	$\frac{1,27}{0,4}$	$\frac{2,82}{0,84}$	$\frac{2,44}{0,74}$
СТС с котельными установками с механизированными котлами	Уголь	$\frac{4,87}{1,69}$	$\frac{4,09}{1,46}$	$\frac{3,28}{1,22}$	$\frac{2,07}{0,78}$	$\frac{4,61}{1,63}$	$\frac{3,99}{1,43}$
СТС с котельными установками с котлами ручного обслуживания	Уголь	$\frac{7,09}{2,44}$	$\frac{5,91}{2,11}$	$\frac{4,75}{1,78}$	$\frac{3,16}{1,26}$	$\frac{6,28}{2,19}$	$\frac{5,41}{1,94}$
СТС с котельными установками низкого давления малой мощности	Мазут	$\frac{3,98}{1,55}$	$\frac{2,7}{1,1}$	$\frac{1,76}{0,69}$	$\frac{0,63}{0,16}$	$\frac{2,95}{1,21}$	$\frac{2,17}{0,88}$

Примечание. В таблице определены отношения β/α для систем теплоснабжения:

- в числителе — для годовых эксплуатационных расходов;
- в знаменателе — для приведенных затрат.

Полученные результаты позволяют разработать методику экспресс-оценки эффективности капитальных вложений при реконструкции систем теплоснабжения. Методика позволит учитывать эффект от внедрения энергосберегающих и природоохранных технологий, материалов и оборудования, а также учитывать снижение среднего ожидаемых ущербов за счет повышения энергетической безопасности (табл. 5).

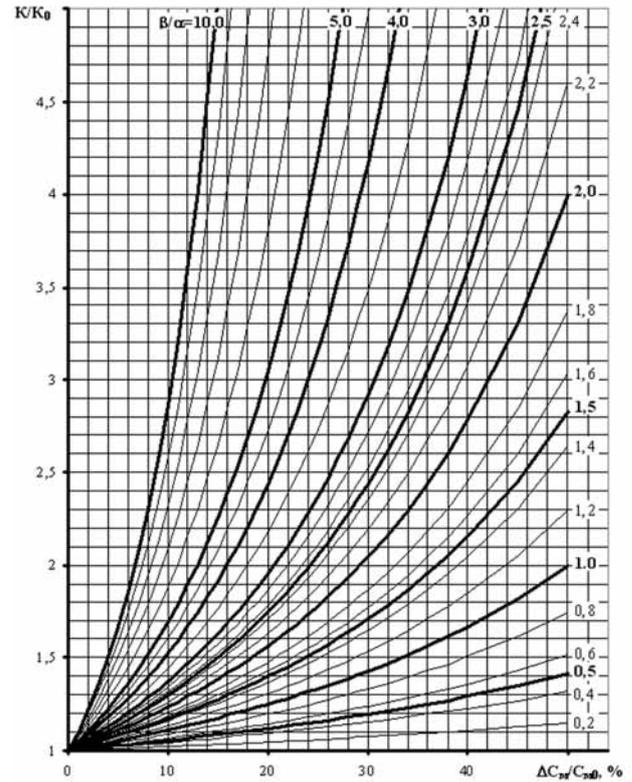


Рис. 3. Диаграмма кривых замещения (изоквант) для двухфакторной функции Кобба-Дугласа вида $C = A(pK)^\alpha C_M^\beta$

Практическое применение методики сводится к работе с универсальной диаграммой, приведенной на рис. 3. На диаграмме представлено семейство кривых в форме зависимостей снижения материальной части эксплуатационных расходов C_M от капитальных затрат при реконструкции. По оси абсцисс отложены значения эксплуатационных расходов в результате реконструкции (в %), а по оси ординат относительное увеличение капитальных затрат.

Следует отметить, что в материальную часть эксплуатационных расходов включены затраты на топливо, электроэнергию, воду, заработная плата, платежи за загрязнение окружающей среды, а также ущерб от возможных аварий (ущерб от перебоев в снабжении теплом потребителей). В материальную часть эксплуатационных расходов не включаются затраты на текущий ремонт и амортизационные отчисления. Такое разделение обусловлено тем, что в результате капитальных вложений на реконструкцию котельной материальная составляющая эксплуатационных расходов снижается вследствие внедрения энергосберегающих и природоохранных технологий и технических решений по повышению энергетической безопасности, а затраты на текущий ремонт и амортизацию растут с увеличением капитальных вложений.

Результаты оценки среднеожидаемых годовых ущербов от перебоев теплоснабжения на 1 МВт установленной мощности

Категория ущерба	Характеристика категории ущерба	Вероятность появления ущерба	Величина среднеожидаемого ущерба, млн руб.
1	Частичное падение мощности системы теплоснабжения и сопутствующим снижением температуры воздуха в отапливаемых помещениях до 12 °С. Ущерб от нарушений в теплоснабжении такого типа определяется дискомфортом в отапливаемых помещениях и связанной с ним повышенной заболеваемостью людей, перерасходом электроэнергии на обогрев помещений	0,43–0,52	0,05–0,133
2	Падение тепловой мощности, при котором начинается замерзание теплоносителя в некоторых участках тепловых сетей, в стояках систем отопления зданий. При этом, ущерб будет состоять из затрат на восстановление разрушенных трубопроводов и отопительных приборов и затрат по первой группе ущербов	0,17–0,21	0,034–0,088
3	Полное прекращение теплоснабжения и пребывании в таком состоянии, когда полностью замерзают целые кварталы и даже целые поселки с массовой эвакуацией людей	0,03–0,05	До 0,038

Каждая кривая на диаграмме рис. 3 соответствует определенному соотношению коэффициентов эластичности β/α в пределах от 0,2 до 10,0 и более. 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).

Численные значения β/α приведены в табл. 4 для годовых эксплуатационных расходов и приведенных затрат соответственно.

Из диаграммы следует, что любая точка пространства принадлежит какой-либо кривой со своим значением β/α . Любая кривая соответствует сроку окупаемости капитальных вложений, равному нормативному. Любой точке на диаграмме соответствует снижение материальной части эксплуатационных расходов.

В дополнение к диаграмме рис. 3 и табл. 4 при оценке эффективности капитальных вложений необходимо использовать табл. 6, где приведены численные значения (%) содержания отдельных составляющих годовых материальных эксплуатационных расходов (на топливо, электроэнергию, воду и др.) от всех материальных эксплуатационных расходов.

В соответствии с приведенными пояснениями и комментариями методика оценки эффективности капитальных вложений сводится к нескольким несложным действиям:

1. Из табл. 4 выбирается для рассматриваемой системы теплоснабжения значение отношения β/α для приведенных затрат.

2. Для полученного значения β/α выбирается одна из семейства кривых на диаграмме рис. 3, которая будет являться рабочей кривой.

3. Для реальных значений экономии материальных эксплуатационных расходов ΔC_m , ожи-

даемой от внедрения автоматизации, энергосберегающих и природоохранных мероприятий, технических решений по повышению энергетической безопасности и необходимых для этого дополнительных капитальных вложений K/K_0 , находим рабочую точку на диаграмме.

Это осуществляется в следующей последовательности:

3.1. Определяем необходимые для сравнения технико-экономические показатели исходного варианта.

По табл. 6 находим для рассматриваемого варианта СТС доли составляющих в суммарных материальных затратах C_i/C_m , по которым ожидается экономия в результате реконструкции.

По тепловой мощности с использованием графиков или по формуле для СТС в зависимости от группы котельной и типа прокладки тепловых сетей определяем удельные капитальные затраты на строительство $k_{уд}$. По удельным капитальным затратам и тепловой мощности определяется стоимость исходного варианта СТС до реконструкции $K_0 = k_{уд} \cdot Q_{уст}$ в базовых ценах 2000 г. без НДС.

3.2. Определяем соотношение $\Delta C_m/C_{m0}$ и K/K_0 для предлагаемого и исходного вариантов.

Общая экономия материальных расходов C_m/C_{m0} определяется суммированием произведений экономии составляющей материальных расходов C_i в процентах и доли этой составляющей C_i/C_m .

Отношение K/K_0 определяется по выражению $K/K_0 = (K_0 + \Delta K)/K_0$, где ΔK — дополнительные капитальные затраты на реконструкцию.

3.3. По значениям $\Delta C_m/C_{m0}$ и K/K_0 на диаграмме (рис. 3) определяем рабочую точку.

4. Если рабочая точка попадает на рабочую кривую, соответствующую выбранному соотношению β/α , то это означает, что срок окупаемости капитальных вложений равен нормативному (8,4 года).

Составляющие текущих материальных расходов для различных групп систем теплоснабжения

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 $C_B/C_M, \%$	зарплата $C_{з.п.}/C_M, \%$	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 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 $Q_{\text{уст}}$ до 5 МВт;
 - в знаменателе — при установленной тепловой мощности $Q_{\text{уст}}$ 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.

5. Если рабочая точка попадает в область диаграммы выше рабочей кривой, то срок окупаемости будет больше нормативного.

6. Если рабочая точка попадает в область диаграммы ниже рабочей кривой, то срок окупаемости будет меньше нормативного

Следует заметить, что рабочая точка при попадании ее в область диаграммы ниже рабочей кривой всегда будет принадлежать одной из других кривых с другим значением соотношения β/α . Чем меньше будет значение β/α для кривой, на которую попадает рабочая точка, тем больше будет разница между реальным и нормативным сроком окупаемости. Поэтому при сравнении двух или нескольких вариантов реконструкции по положению рабочих точек можно легко оценить у какого варианта будет меньший срок окупаемости капитальных вложений.

Заметим, что выше изложена методика оценки эффективности капитальных вложений при реконструкции систем теплоснабжения по приведенным затратам. Такую оценку можно выполнить также по отношению β/α для годовых эксплуатационных расходов (табл. 6). При этом если рабочая точка попадает на рабочую кривую, то это означает, что капитальные затраты за счет снижения годовых эксплуатационных расходов будут окупаться бесконечно долго.

Если рабочая точка находится выше рабочей кривой, то капитальные вложения не окупятся никогда. Это может произойти, когда увеличение расходов на текущий ремонт и амортизацию будет превалировать над уменьшением материальных эксплуатационных расходов из-за экономии топлива, электроэнергии и т. п.

Если рабочая точка лежит ниже рабочей кривой, то тогда дополнительные капитальные

вложения будут окупаться. При этом сравнительная оценка сроков окупаемости рассматриваемых вариантов реконструкции должна проводиться аналогично тому, как это изложено выше для оценки по приведенным затратам.

Разработанная методика экспресс-оценки эффективности капитальных вложений при реконструкции систем теплоснабжения, позволяет на стадии принятия решений о выборе приоритетного варианта выполнять сравнительную оценку сроков окупаемости с учетом эффекта энергосбережения и повышения энергетической безопасности.

Литература

1. Бондарев А.В., Маллаев К.М., Смирнов А.В. Разработка и испытание модернизированного угольного котлоагрегата высокотемпературного кипящего слоя с устройством автоматического пуска // Двигателестроение. — 2017. — № 3 (269). — С. 35–43.
2. Смолинский С.Н. Оценка технико-экономической эффективности модернизации систем теплоснабжения с автоматизированными угольными котельными с котлами высокотемпературного кипящего слоя // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. — 2017. — № 656. — С. 183–189.
3. Бондарев А.В., Смирнов А.В., Кныш С.А., Карпов М.А., Проскураков Д.А. Результаты режимной наладки и теплоснабжения котлоагрегата малой мощности КВП-1,74-ВТКС для сжигания низкосортных углей в высокотемпературном кипящем слое // Инженерные системы. — 2008. — № (37).
4. Смирнов А.В., Морозов Б.И., Рода И.С. и др. Разработка сборника нормативных показателей по эксплуатации угольных котельных с котлами высокотемпературного кипящего слоя для теплоснабжения объектов МО РФ: Отчет о НИР «Норматив» // СПб: ВИТУ, 2007.
5. Морозов Б.И. Использование экономико-математических методов для оценки характеристик отопительно-производственных котельных // Военная наука и образование — городу: Тез. докл. 1-й Городск. науч.-практич. конф. 20–22 мая 1997 г. — СПб., 1997. Ч. 1. — С. 186.