

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
Тема 1. Экономия топлива при эксплуатации дизель – генераторов.....	5
Тема 2. Экономия энергоресурсов за счет регенерации тепловой энергии при работе котельных установок.....	10
Тема 3. Влияние состояния теплоизоляции тепловых сетей на расход энергоресурсов.....	19
Тема 4. Энергосбережение в системах отопления и вентиляции животноводческих помещений за счет регенерации теплоты воздуха, удаляемого из помещения.....	22
Тема 5. Снижение расхода электрической энергии на отопление зданий путем замены электрокалориферов тепловыми насосами.....	26
Список рекомендуемых источников.....	29
Приложение.....	30

ВВЕДЕНИЕ

Проблемы, связанные с рациональным использованием различных видов источников энергии, являются актуальными. Решение этих проблем развивается в следующих направлениях:

- разработка способов энергосбережения, которые могли бы приводить к значительной экономии потребляемой энергии;
- использование новых возобновляемых источников энергии, компенсирующих или заменяющих традиционные энергоресурсы;
- разработка новых технологий и технических средств, обеспечивающих рост коэффициента использования существующих энергетических ресурсов;
- использование вторичных энергоресурсов (ВЭР);
- децентрализация производства энергии, которая сократит передачу энергии на большие расстояния и связанные с этим потери энергии.

Экономия энергоресурсов — важнейшая задача сегодняшнего дня. Одним из эффективных экономичных способов получения дополнительной энергии становится энергосбережение. В настоящее время потенциал экономии энергии в России достаточно высок. Экономное расходование всех видов энергии — основное условие успешного хозяйствования и получения прибыли. Доля энергозатрат в себестоимости продукции сельского хозяйства доходит до 50%, поэтому сокращение энергоемкости производства становится первостепенной задачей.

Одним из эффективных способов снижения энергоемкости производства является использование энергии тепловых выбросов оборудования: технологических паров, нагретых газов, горячей воды, конденсата, вентиляционных выбросов и т.д. Тепловые выбросы как высокотемпературные (свыше 350 °С), так и низкотемпературных (менее 150 °С) могут являться вторичными энергоресурсами. При эксплуатации различного оборудования необходимо сокращать тепловые выбросы, что даст прямую экономию первичных энергоресурсов.

Перспективным направлением развития энергетики становится внедрение нетрадиционных возобновляемых источников энергии.

Практические занятия по курсу преследуют одну цель: ознакомить студентов с основными методами экономии энергоресурсов и дать им представление о количественных характеристиках различных способов экономного расходования энергии.

Пособие дает возможность организовать цикл практических занятий по курсу, а также самостоятельную работу студентов по выполнению индивидуальных заданий.

Тема 1. ЭКОНОМИЯ ТОПЛИВА ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРОВ

Дизель-генератор – это комплексная установка, состоящая из двигателя внутреннего сгорания и генератора, смонтированных на общей рамке. Дизель-генераторы используются широко как автономные источники электроэнергии. Они делятся на передвижные и стационарные. Первые выполняют на базе быстроходных дизелей с воздушной или жидкостной системой охлаждения, мощностью от 20 до 75 кВт. Вторые (стационарные) размещают в помещениях, используют в качестве основных источников электроэнергии и изготавливают на базе тихоходных дизелей с большим моторесурсом мощностью от 500 до 3500 кВт.

Экономия расхода топлива дизель-генератором возможна за счет:

- конструктивных факторов (изменения степени сжатия; устройства для наддува; регенеративный подогрев воздуха и топлива и др.);
- режимных факторов (номинальная нагрузка; оптимальный тепловой режим);
- эксплуатационных факторов (качественное топливо и смазка; минимальная продолжительность работы на холостом ходу; оптимальные регулировки топливной аппаратуры; состояние основных деталей цилиндропоршневой группы; идеальное состояние вспомогательных устройств и др.)

В процессе эксплуатации дизель-генераторов все указанные факторы действуют комплексно, поэтому практически определить экономический эффект какого-либо одного из них весьма сложно. Ограничимся изучением влияния одного из этих факторов и расчетом определим влияние основного конструктивного параметра — степени сжатия ϵ на удельный расход топлива.

Термический КПД цикла ДВС в расчете на 1 кг рабочего тела

$$\eta_t = \frac{N_o}{Q_P},$$

где N_o — теоретическая мощность двигателя, кВт,

Q_P — располагаемая теплота топлива, кВт.

$$Q_P = Q_H^P \cdot B,$$

где Q_H^P — теплота сгорания (теплотворная способность) 1 кг топлива, кДж/кг,

B — расход дизельного топлива, кг/с.

Мощность, развиваемая потоком газа внутри цилиндра ДВС, называется индикаторной мощностью N_i , а мощность на валу — эффективной мощностью N_e .

Эффективная мощность меньше индикаторной на величину потерь энергии ΔN_m , обусловленной трением поршня и поршневых колец о стенки цилиндра; трением в подшипниках, в распределительном механизме и т.д.

$$N_e = N_i - \Delta N_m.$$

Эти потери энергии учитываются КПД механическим η_m , который имеет значения:

$\eta_m = 0,7 \dots 0,85$ — для карбюраторных двигателей,

$\eta_m = 0,6 \dots 0,85$ — для дизелей без наддува и

$\eta_m = 0,9 \dots 0,92$ — для дизелей с наддувом.

Эффективный КПД определяет, какая доля от располагаемой теплоты топлива преобразована в данном двигателе в эффективную мощность на валу. Его величину можно рассчитать по уравнению

$$\eta_e = \frac{N_e}{Q_P} \quad \text{или} \quad \eta_e = \eta_t \cdot \eta_{oi} \cdot \eta_m$$

где η_{oi} — относительный индикаторный КПД, учитывает потери энергии в цилиндре ДВС вследствие нагрева оборудования и трения.

Термический КПД для цикла современного дизеля можно выразить через характеристики:

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \cdot \frac{\lambda \rho^k}{(\lambda - 1) + k \cdot \lambda(\rho - 1)}$$

На экономичность дизеля сильно влияет величина степени сжатия ε . С увеличением ε наблюдается рост КПД η_t и η_e .

Другим важным показателем экономичности является удельный расход топлива, имеющий значения для дизелей от 277 до 355 г/кВт · ч.

Задание 1

Определить относительный экономический эффект (%) от повышения степени сжатия ε .

Расчет эффективности повышения степени сжатия для дизелей провести при условии их работы в номинальном режиме, приняв степень повышения давления $\lambda = 1,8$; степень предварительного расширения $\rho = 1,46$; полагая (условно), что рабочее тело в цикле обладает свойствами воздуха, $k = 1,4$.

Расчет выполнить для рекомендуемых величин ε в соответствии с номером варианта из табл. 1.

Таблица 1.

Исходные данные для расчета

№ Варианта	Марка дизеля	Номинальная мощность N , кВт	Удельный расход топлива b , $\frac{г}{кВт\cdotч}$	Степень сжатия ε	Рекомендуемая степень сжатия ε_i	Степень подогрева топлива Δt , °С
1	Д-120	22	244	14	15;16	20
2	Д-144	44,1	240	15	16,5; 17,5	40
3	Д-240	55,1	237	16	17; 18	50
4	Д-181	110,2	231	18	19; 20	15
5	8ДВТ-400	316	239	15	16; 17	30
6	СМД-81	183,7	243	14	15,5; 16,5	60
7	Д-65Н	44,1	253	12	13; 14	45
8	СМД-19/20	92	248	13	14; 15	70
9	Д-160	122,8	243,5	14	15; 16	40
10	12ДВТ-600	441	239,8	15	16,5; 17	50
11	4ДГ 19/30	147	258,5	11	12; 13	30
12	6ДГ19/30	220	253	12	13; 14	65
13	ДГ-48	58	248	13	14,5; 15,5	45
14	А-01МЛ	80,8	244	14	15; 16	50
15	Д-120	24	240,2	15	16; 17	55
16	Д-240	57	237	16	17; 18	35
17	СМД-19	98	247	13	14; 15	70
18	4ДГ-19	150	244,1	14	15; 16	25
19	Д-160	120	240	15	16; 17	40
20	Д-181	105	235	17	18; 19	60

Последовательность расчета:

1. Для рекомендуемых величин степени сжатия ε определить термический КПД цикла

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \cdot \frac{\lambda \rho^k}{(\lambda - 1) + k \cdot \lambda(\rho - 1)}$$

2. Рассчитать эффективный КПД цикла

$$\eta_e = \eta_t \cdot \eta_{oi} \cdot \eta_m,$$

приняв по одному значению из интервала:

$$\eta_{oi} = 0,65 \dots 0,75 \quad \text{и} \quad \eta_m = 0,7 \dots 0,9.$$

3. Определить удельный расход топлива в г/кВт·ч

$$b = \frac{3600}{Q_H^P \cdot \eta_e},$$

где $Q_H^P = 40 \dots 42 \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$ — теплота сгорания дизельного топлива.

4. Определить относительный экономический эффект снижения топлива на единицу повышения степени сжатия, %

$$\Xi = \frac{b_i - b_{i+1}}{b_i} \cdot 100.$$

Результаты расчета свести в таблицу, анализ оформить выводом.

Задание 2

Определить экономию дизельного топлива за счет его регенеративного подогрева энергией отработавших уходящих газов.

Конструктивно это обеспечивается установкой противоточного газожидкостного теплообменника, в котором роль горячего теплоносителя выполняют отработавшие газы, подогревающие дизельное топливо перед его поступлением в топливный насос системы питания.

Расчет выполнить при номинальной мощности работы дизеля (без расчета характеристик теплообменника). Данные для расчета приведены в табл. 1.

Последовательность расчета:

1. Определить количество теплоты, внесенной дополнительно с топливом за счет регенерации, кДж/с или кВт:

$$Q_{\text{рег}} = \frac{b \cdot N_e \cdot c_T \cdot \Delta t}{3600},$$

где b — удельный расход топлива, кг/кВт·ч;
 N_e — номинальная эффективная мощность двигателя, кВт,
 c_T — теплоемкость топлива, принять $c_T = 2,1$ кДж/кг·К,
 Δt — степень подогрева топлива, °С, принять из табл. 1.

2. Определить процент экономии топлива за счет регенерации теплоты отработавших газов, %

$$E = \frac{3600 \cdot Q_{\text{рег}}}{Q_H^P \cdot b \cdot N_e \cdot \eta_e} \cdot 100.$$

3. Определить экономию денежных средств за счет регенерации в течение часа работы дизеля, руб./ч.

$$\Delta D = \Delta B \cdot T,$$

где T — тариф на дизельное топливо, руб/кг,
 ΔB — часовая экономия топлива за счет регенерации, кг/ч

$$\Delta B = b \cdot N_e \cdot \frac{E}{100}.$$

После получения результата следует дать оценку этого способа энергосбережения.

Тема 2. ЭКОНОМИЯ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ ЗА СЧЕТ РЕГЕНЕРАЦИИ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ПРИ РАБОТЕ КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Современные котельные установки малой и средней мощности имеют сравнительно не высокий КПД, особенно при работе без регенерации тепла. При этом основной канал потерь – вынос теплоты с тепловыми газами.

Значительная часть тепловой энергии при работе котельных теряется от наружного охлаждения нагретых поверхностей котла. Эти потери можно снизить за счет использования материалов обмуровки с меньшими значениями коэффициентов теплопроводности, увеличением толщины обмуровки, а также за счет частичной (косвенной) регенерации потерянного тепла, если использовать воздухозабор из помещения котельной, особенно из верхней зоны. Снижение температуры уходящих газов на выходе из котла за счет использования экономайзеров, воздухоподогревателей, контактных теплообменников (прямая регенерация тепловой энергии) дает значительную экономию энергоносителя и повышения КПД котла.

Расход топлива и КПД котла находят на основании теплового баланса котлоагрегата.

Тепловой баланс котла заключается в установлении равенства между поступившим в агрегат при сжигании топлива количеством теплоты, называемым располагаемой теплотой Q_p , и суммой полезно использованной теплоты Q_l и тепловых потерь энергии:

$$Q_p = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6,$$

где Q_2 — потери теплоты с уходящими из котла дымовыми газами;
 Q_3 — потери тепла от химической неполноты сгорания топлива (химический недожог);
 Q_4 — потери тепла от механической неполноты сгорания топлива (механический недожог);
 Q_5 — потери теплоты в окружающую среду через обмуровку котла (от наружного охлаждения);
 Q_6 — потери тепла с физической теплотой шлака (учитывают для твердых высокозольных топлив).

Обычно в расчетах используют уравнение теплового баланса, выраженное в процентах по отношению к располагаемой теплоте топлива, принимаемой за 100% ($Q_p = 100\%$). Такой баланс называют обратными, из него выражают КПД котла:

$$\eta_k = 100 - (q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6).$$

По прямому балансу определяют расход подаваемого в топку котла топлива, кг/с или м³/с:

$$B = \frac{Q_1}{Q_H^P \cdot \eta_k}.$$

Возможности реального процесса экономии топлива при работе котельных установок можно оценить, решая конкретные задачи.

Задание 1

Определить экономию топлива за отопительный сезон и в расчете на 1ГДж выработанной тепловой энергии в котельной, использующей отопительные котлы малой и средней мощности.

Сравнить два варианта: внешний воздухозабор при средней температуре отопительного периода $t_{оп}$ и внутренний воздухозабор из верхней зоны котельной с температурой $t_{вн} = 25...30$ °С. Определить относительную экономию топлива при внутреннем воздухозаборе по сравнению с внешним. Данные для расчета выбрать из табл. 2, 3, 4.

Таблица 2.

Исходные данные

№ варианта	Тип и марка котла	Номинальная тепловая мощность Q , кВт	КПД котла, η_k	Вид сжигаемого топлива	Среднегодовая температура отопительного периода $t_{оп}$, °С
1	2	3	4	5	6
1.	ДКВР-4-13	2910	0,85	Егоршинский уголь	-7,5
2.	ДКВР-6,5-13	4880	0,86	Веселовский уголь	- 6,2
3.	ДКВР-10-13	7560	0,90	Мазут сернистый	- 5,5
4.	НР-18	550	0,7	Интинский уголь	- 4,9
5.	ТВГ-4	5000	0,9	Ухтинский газ	- 5,9
6.	ТВГ-8	9650	0,92	Березовский газ	-6,7
7.	КВ-300М	298	0,8	Челябинский уголь	-4,3
8.	Д-721А	668	0,90	Мазут малосернистый	-3,6
9.	ДКВР-2,5-13	1750	0,87	Воркутинский уголь	-4,5

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6
10.	Е-1/9-1Г	930	0,88	Газ саратовский-1	-3,9
11.	ДКВР-2,5-13	2440	0,89	Мазут высокосернистый	-5,1
12.	КВ-ТС-4	4650	0,80	Подмосковный уголь	-5,8
13.	ДКВР-10-13	6800	0,86	Кизеловский уголь	-6,6
14.	ТВГ-8	8695	0,9	Газ Башкирский	-5,2
15.	ДКВР-4-13	4070	0,91	Газ Саратовский-2	-6,4
16.	КВ-Г-4	4100	0,92	Газ Ухтинский	-7,1
17.	ДКВР-6,5-13	4640	0,89	Воркутинский уголь	-5,4
18.	КВ-ТС-4	4280	0,84	Егоршинский уголь	-3,9
19.	Е-1/9	990	0,87	Мазут сернистый	-4,4
20.	КВ-ГМ-6,5	6500	0,91	Мазут малосернистый	-5,6

Таблица 3.

Расчетные характеристики твердых и жидких топлив

Топливо (месторождения)	Элементный состав, %					Теплота сгорания на рабочую массу Q_H^P , кДж/кг
	C^P	H^P	$S_{O+П}^P$	N^P	O^P	
Угли:						
Егоршинский ПА	60	2,5	0,4	0,9	4,0	22400
Веселовское БЗ	29,9	2,3	0,4	0,5	12,5	10390
Воркутинский Ж	59,6	3,8	0,8	1,3	5,4	23670
Интинский Д	47,7	3,2	2,6	1,3	8,8	18310
Кизеловский Г	48,5	3,6	6,1	0,8	4,0	19700
Подмосковный Б2	28,7	2,2	2,7	0,6	8,6	10420
Челябинский БЗ	37,3	2,8	1,0	0,9	10,5	13950
Мазуты:				$N^P + O^P$		
Малосернистый	84,65	11,7	0,3	0,3		40300
Сернистый	83,8	11,2	1,4	0,5		39750
Высокосернистый	83,0	10,4	2,8	0,7		38800

Таблица 4.

Расчетные характеристики газообразного топлива

Газ природный	Элементный состав газа, %							Теплота сгорания на сухую массу Q_H^C , кДж/нм ³
	CH_4	C_2H_4	C_3H_8	C_4H_{10}	C_5H_{12}	N_2	CO_2	
Ухтинский	88	1,9	0,2	0,3	-	9,3	0,3	33290
Березовский	95,1	1,1	0,3	0,1	-	3,0	0,4	35320
Саратовский-1	93,8	2,0	0,8	0,3	0,1	2,5	0,4	36200
Саратовский-2	92,8	2,8	0,9	0,4	0,1	2,5	0,5	36600
Башкирский	84,5	3,8	1,9	0,9	0,3	7,8	0,8	35820

Расчет проводится в следующей последовательности:

1. Определяется расход топлива при номинальной нагрузке котла, кг/с (для жидкого или твердого топлива), нм³/с (для газообразного топлива, отнесенный к нормальным условиям)

$$B = \frac{Q}{\eta_k \cdot Q_H^P},$$

где Q — номинальная тепловая мощность котла (табл.2), кВт;
 Q_H^P — теплота сгорания угля или мазута (в расчете на рабочую массу, из табл. 2), кДж/кг;
 Q_H^C — теплота сгорания природного газа (в расчете на сухую массу, из табл. 3), кДж/нм³;
 η_k — КПД котла (табл.2).

2. Для полного сгорания 1 кг твердого (жидкого) топлива или 1 нм³ газообразного топлива требуется воздух, теоретически необходимый расход которого V_b^o , зависит от количества горючих элементов в топливе и может быть рассчитан по одной из формул:

а). Для твердого или жидкого топлива, м³/кг

$$V_b^o = 0,09(C^P + 0,375S_{o+п}^P) + 0,265H^P - 0,0333O^P,$$

где $C^P, S_{o+п}^P, H^P, O^P$ — элементный состав топлива (табл. 3), %.

b). Для газообразного топлива, $\text{м}^3/\text{нм}^3$

$$V_{\text{в}}^o = 0,0476 [0,5CO + 0,5H_2 + 1,5H_2S + \sum \left(m + \frac{n}{4}\right) C_m H_n - O_2].$$

При отсутствии в природном газе отдельных компонент, формула упрощается

$$V_{\text{в}}^o = 0,0476 \left[\sum \left(m + \frac{n}{4}\right) C_m H_n \right],$$

где m, n — число атомов углерода и водорода в молекуле углеводорода,

$C_m H_n$ — содержание углеводородов в природном газе (табл.4), %.

3. Поскольку равномерно перемешать воздух с топливом трудно, в топку подают воздуха больше, чем необходимо теоретически.

Действительный расход воздуха при сжигании 1 кг (нм^3) топлива, $\text{м}^3/\text{кг}$ или $\text{м}^3/\text{нм}^3$:

$$V_{\text{в}}^{\Delta} = \alpha \cdot V_{\text{в}}^o,$$

– для газов $\alpha = 1,05 \dots 1,1$

– для мазута $\alpha = 1,1 \dots 1,15$

– для твердых топлив $\alpha = 1,2 \dots 1,5$ (с учетом способа сжигания).

4. Действительный объем воздуха, подаваемый в топку при сжигании B кг/с ($\text{нм}^3/\text{с}$) топлива, $\text{м}^3/\text{с}$:

$$V_{\text{в}} = V_{\text{в}}^{\Delta} \cdot B.$$

5. Расход теплоты, необходимый для подогрева этого воздуха (внешний воздухозабор) или внесенный с воздухом (внутренний воздухозабор), кВт

$$Q_i = V_{\text{в}} \cdot c'_{p_{\text{в}}} \cdot (t_{\text{в}i} - t_o), \quad (i = 1; 2),$$

где $c'_{p_{\text{в}}} = 1,3 \frac{\text{кДж}}{\text{нм}^3 \cdot \text{К}}$ — объемная изобарная теплоемкость воздуха;

$t_{\text{в}1}$ — температура воздуха при внешнем воздухозаборе, °С;

$t_{\text{в}2}$ — температура воздуха из помещения котельной, °С;

$t_o = 0$ °С — принимаем.

6. Расход топлива с учетом внешнего или внутреннего воздухозабора, кг/с или $\text{нм}^3/\text{с}$:

$$B_i = \frac{Q - Q_i}{Q_H^P \cdot \eta_k},$$

7. Изменение расхода топлива за секунду в котельной, кг/с или $\text{нм}^3/\text{с}$

$$\Delta B_{c_i} = B - B_i.$$

8. Перерасход или экономия топлива в расчете на 1 ГДж отпускаемой теплоты котельной, кг/ГДж (для угля, мазута) или $\text{нм}^3/\text{ГДж}$ (для газа):

$$\Delta b_i = \frac{\Delta B_{c_i} \cdot 10^6}{Q}.$$

9. Экономия (перерасход) топлива в котельной за час, сутки и отопительный период:

$$\Delta B_{ч_i} = 3600 \cdot \Delta B_{c_i},$$

$$\Delta B_{сут_i} = 24 \cdot \Delta B_{ч_i},$$

$$\Delta B_{от.п.} = \tau \cdot \Delta B_{сут_i},$$

где $\tau = 222$ сут — продолжительность отопительного периода для Костромы.

Результаты расчетов проанализировать, оформить в виде таблицы и вывода.

Задание 2

Определить экономию топлива котельными установками за счет предельно возможной регенерации теплоты уходящих газов (для тех же котлов). Для расчета принять температуру уходящих газов до теплообменника $t_{yx1} = 160 \dots 190$ °С, после теплообменника $t_{yx2} = 110 \dots 130$ °С, а в газовых котельных при применении контактных теплообменников можно снижать до $80 \dots 90$ °С.

Регенерация тепловой энергии происходит за счет перераспределения теплоты в теплообменнике от уходящих газов (продуктов сгорания топлива) воздуху, который нагревается и возвращает теплоту в топку котла.

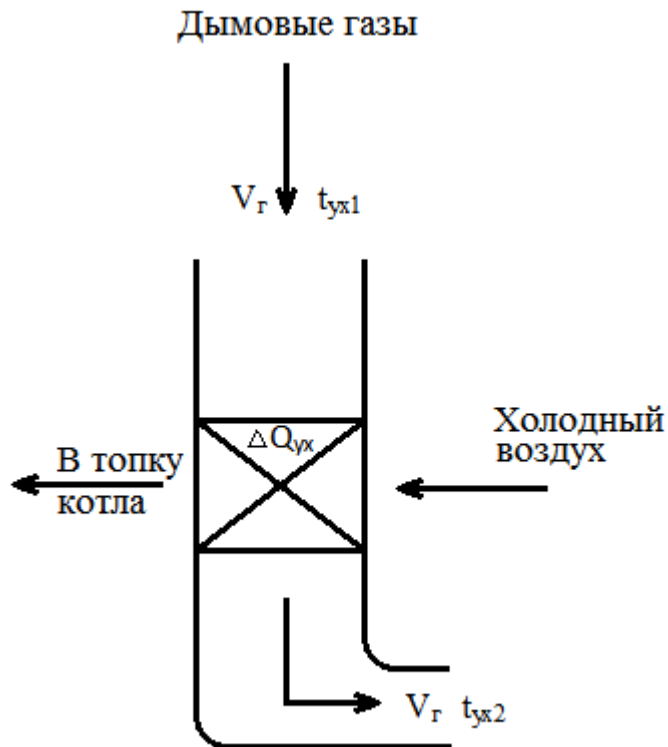


Рис. 2.1 Схема расположения теплообменника в газоходе котла

За счет регенерации потери тепла с уходящими газами при сжигании топлива в количестве B (кг/с или $\text{нм}^3/\text{с}$) уменьшаются на величину, кВт:

$$\Delta Q_{ух} = B[V_{CO_2} C'_{CO_2} + V_{N_2} C'_{N_2} + V_{H_2O} C_{H_2O} + (\alpha - 1)V_b^0 C'_b](t_{ух1} - t_{ух2}),$$

где B — расход топлива при номинальном режиме работы котла (см. задание 1), кг/с или $\text{нм}^3/\text{с}$;

$V_{CO_2}, V_{N_2}, V_{H_2O}$ — объем газов, составляющих продукты сгорания и входящие в состав дымовых газов в расчете на 1 кг (или нм^3) сгоревшего топлива. Выбрать из табл.5 по заданному топливу, $\text{м}^3/\text{кг}$ или $\text{м}^3/\text{нм}^3$.

$C'_{CO_2}, C'_{N_2}, C_{H_2O}, C'_в$ — средние объемный теплоемкости газов и воздуха соответственно, выбрать по средней температуре уходящих газов из табл.6, $\frac{\text{кДж}}{\text{м}^3 \cdot \text{К}}$;

V_b^0 — теоретический объем воздуха, необходимый для полного сжигания 1 кг (1нм^3) топлива, принять из табл.5, $\text{м}^3/\text{кг}$ или $\text{м}^3/\text{нм}^3$.

Расход топлива на котел с применением регенерации теплоты уходящих газов, кг/с или $\text{нм}^3/\text{с}$:

$$B_{\text{рег}} = \frac{Q - \Delta Q_{\text{ух}}}{Q_H^P \cdot \eta_k},$$

где Q — номинальная тепловая мощность котла, кВт (табл.2);

Q_H^P — теплота сгорания топлива, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ или $\frac{\text{кДж}}{\text{нм}^3}$.

Экономия топлива за счет регенерации тепла, кг/с или $\text{нм}^3/\text{с}$

$$\Delta B = B - B_{\text{рег}}.$$

Экономия топлива за час, сутки, отопительный период: $\Delta B_{\text{ч}}$, $\Delta B_{\text{сут}}$,

$$\Delta B_{\text{о.п.}} = \Delta B_{\text{сут}} \cdot \tau.$$

Изменение КПД котла при его работе с регенерацией, %

$$\Delta \eta = \frac{Q}{Q_H^P \cdot \Delta B} \cdot 100.$$

По полученным результатам следует дать оценку этого метода экономии ресурсов.

Таблица 5.

Объемы воздуха и продуктов сгорания на 1 кг твердого (жидкого) или 1 м³ газообразного топлива при $\alpha = 1$, м³/кг или м³/м³

Топливо	V_B^o	V_{CO_2}	V_{N_2}	V_{H_2O}	V_T^o
<u>Угли:</u>					
Егоршинский ПА	5,9	1,13	4,67	0,47	6,27
Веселовский БЗ	2,86	0,56	2,27	0,6	3,43
Воркутинский Ж	6,15	1,12	4,87	0,59	6,58
Интинский Д	4,88	0,91	3,87	0,57	5,35
Кизеловский Г	5,33	0,95	4,22	0,56	5,73
Подмосковный Б2	2,94	0,55	2,33	0,69	3,57
Челябинский БЗ	3,74	0,7	2,96	0,59	4,26
<u>Мазуты топочные:</u>					
Малосернистый	10,62	1,58	8,39	1,51	11,48
Сернистый	10,45	1,57	8,25	1,75	11,28
Высокосернистый	10,20	1,57	8,06	1,36	10,99
<u>Природный газ:</u>					
Ухтинский	9,57	1,03	7,59	2,13	10,75
Березовский	9,74	1,04	7,7	2,18	10,92
Саратовский-1	9,58	1,02	7,6	2,14	10,76
Саратовский-2	9,68	1,04	7,67	2,16	10,86
Башкирский	9,52	1,04	7,6	2,10	10,73

Таблица 6.

Средние объемные теплоемкости газов и воздуха, $\frac{\text{кДж}}{\text{м}^3 \cdot \text{К}}$

$t, ^\circ\text{C}$	C'_{CO_2}	$C'_{N_2 t}$	C'_{H_2O}	C'_B
100	1,7003	1,2959	1,5052	1,3243
110	1,7153	1,2963	1,5069	1,3251
120	1,7177	1,2966	1,5086	1,3258
130	1,7264	1,2970	1,5104	1,3266
140	1,7351	1,2974	1,5121	1,3273
150	1,7438	1,2982	1,5138	1,3281
160	1,7526	1,2984	1,5155	1,3289
170	1,7613	1,2985	1,5172	1,3296
180	1,7670	1,2987	1,5190	1,3304
190	1,7788	1,2992	1,5207	1,3311
200	1,7874	1,2996	1,5224	1,3319

Тема 3. ВЛИЯНИЕ СОСТОЯНИЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ НА РАСХОД ЭНЕРГОРЕСУРСОВ

В настоящее время на теплоснабжение расходуется около 45% всех энергоресурсов, расходуемых в стране. Более 70% потребителей теплоты обеспечиваются через централизованные системы теплоснабжения. Теплота в виде горячей воды передается от источника к потребителям по системе трубопроводов, которые называют тепловые сети. Это наиболее ответственный и технически сложный участок системы трубопроводов. Высокие давление и температура определяют повышенные требования к надежности и безопасности тепловых сетей. Традиционные технологии и материалы, применяемые при строительстве и ремонте тепловых сетей, приводят к необходимости полной замены труб и изоляции через 10-15 лет и потери до 25% транспортируемой теплоты при нормативном показателе 7% от объема передаваемого тепла.

При обследовании теплотрасс проверяются следующие возможные причины потери энергии:

- наличие плохого качества тепловой изоляции (устанавливается по фактическим тепловым потерям на основе расхода воды и падения температуры);
- наличие утечек воды в теплотрассе (определяется по расходу подпиточной воды, либо по балансу расхода воды в прямом и обратном трубопроводах);
- подтопление теплотрасс с плохой гидроизоляцией.

Особенно велики нерасчетные тепловые потери в тепловых сетях с подземной прокладкой трубопроводов и высоким уровнем грунтовых вод при затоплении их дождевыми или паводковыми водами. При таком нарушении тепловой изоляции труб тепловые потери в тепловых сетях достигают 50% и более. Потери тепла устраняются либо надземной прокладкой теплотрасс, либо применением предварительно изолированных труб.

Новые энергосберегающие технологии и материалы, на которых основано производство теплогидроизолированных труб (в частности пенополиуретан), позволяют обеспечить безаварийное и эффективное теплоснабжение, снизить потери тепла в 3-4 раза нормативных и увеличить длительность эксплуатации до 30 лет.

Для оценки состояния теплотрасс необходимо сравнить потери в них теплоты с теми значениями, которые допускались при проектировании в соответствии с требованиями СНиП.

Задание

По техническим требованиям температура теплоносителя (воды) в магистральных теплосетях не должна понижаться более чем на 1 К/км.

Вариант 1.

В соответствии с неудовлетворительным состоянием теплоизоляции на теплотрассе ТЭЦ-2 – учебный городок температура теплоносителя понижается на 5 К/км. Определить перерасход тепла и топлива для этих условий по сравнению с нормативным техническим состоянием теплосети.

Вариант 2.

После проведенных работ по ремонту теплосети и замене теплоизоляции на этом участке снижение температуры теплоносителя не превышает 0,5...0,7 К/км. Определить экономию тепла и топлива для новых условий работы теплосети.

Исходные данные для расчета:

Скорость воды в подающем теплопроводе $w = 1$ м/с;

Диаметр трубопровода $d = 420$ мм;

Температура воды $t = 130$ °С;

Плотность воды при этой температуре $\rho = 935$ кг/м³;

Длина теплотрассы $l = 3$ км.

Вид топлива принять из табл.2 (темы 2) в соответствии с вариантом.

Расчеты выполнить сначала для варианта 1, а затем для варианта 2.

Последовательность расчетов:

1. Массовый секундный расход воды в подающем трубопроводе, кг/с

$$m = w \cdot \frac{\pi d^2}{4} \cdot \rho.$$

2. Допустимые потери тепла за 1 сек при нормативном состоянии теплоизоляции по всей магистрали, кВт

$$\Delta Q_H = m \cdot c_g \cdot l \cdot \Delta t_H,$$

где $\Delta t_H = 1 \frac{\text{К}}{\text{км}}$ — допустимое по нормативам снижение температуры воды на каждом километре;

$c_g = 4,19 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ — массовая изобарная теплоемкость воды;

m — массовый секундный расход воды, кг/с,
 l — протяженность теплотрассы, км.

3. Действительные потери теплоты в кВт

$$\Delta Q_g = m \cdot C_p \cdot l \cdot \Delta t_g,$$

где Δt_g — действительное снижение температуры теплоносителя в теплопроводе на 1 км длины, $\frac{\text{К}}{\text{км}}$.

4. Перерасход (вариант 1) или экономия (вариант 2) тепла, кВт

$$\Delta Q_i = \Delta Q_H - \Delta Q_g.$$

5. Перерасход или экономия топлива за 1 час работы котельной, кг/ч или $\text{нм}^3/\text{ч}$

$$\Delta B_{\text{ч}} = \frac{3600 \cdot \Delta Q_i}{Q_H^P \cdot \eta_K},$$

где Q_H^P — теплота сгорания топлива в кДж/кг (для угля и мазута) или кДж/ нм^3 (для газа) из табл.3,4;
 η_K — КПД котла из табл.2 по номеру варианта.

6. Перерасход или экономия топлива за отопительный период ($\tau = 5280$ час) в t или тыс. нм^3 :

$$\Delta B_{\text{от}} = \frac{\Delta B_{\text{ч}} \cdot \tau}{1000}.$$

Проанализировать влияние состояния изоляции на расход топлива выводом.

Тема 4. ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В СИСТЕМАХ ОТОПЛЕНИЯ И ВЕНТИЛЯЦИИ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ПОМЕЩЕНИЙ ЗА СЧЕТ РЕГЕНЕРАЦИИ ТЕПЛОТЫ ВОЗДУХА, УДАЛЯЕМОГО ИЗ ПОМЕЩЕНИЯ

Проблема энергосбережения является одной из основных для современного сельскохозяйственного производства. В сельском хозяйстве крупными потребителями теплоты являются животноводческие и птицеводческие фермы, на которых с целью поддержания нормального микроклимата в холодный период года применяют воздушное отопление, совмещая с приточной системой вентиляции с подогревом воздуха в калориферных установках. Воздух из помещения удаляется через вытяжные шахты или магистрали вытяжной вентиляции и выбрасывается наружу, что связано с большими потерями теплоты. Непосредственная рециркуляция воздуха невозможна из-за поступления в него в этих помещениях водяных паров, вредных газов (углекислого газа, аммиака, сероводорода), а также пыли.

На подогрев приточного воздуха расходуется до 80% общего количества теплоты, необходимой для животноводческого помещения. Большое количество теплоты, выделяемой животными, а также техническая теплота, затраченная на отопление, выбрасываются из помещения с вытяжной вентиляцией. Следовательно, в животноводстве и птицеводстве имеется большой резерв вторичной тепловой энергии, которая является низкопотенциальной, т.к. перепад значений температур внутренней (максимальной) и наружной (минимальной) не превышает 40...60 °С.

Экономия тепловой энергии при этом может быть достигнута за счет утилизации физического тепла воздуха, удаляемого из помещения, в рекуперативном теплообменнике, через который в обратном направлении проходит атмосферный воздух к калориферной установке. При этом очевидно, что экономия тепла будет пропорциональна расчетному перепаду температур между внутренним и наружным воздухом.

Задание

Определить процент экономии тепловой энергии за счет регенерации теплоты воздуха, удаляемого из помещения, и передаче этой теплоты приточному атмосферному холодному воздуху для заданных условий в соответствии с вариантом.

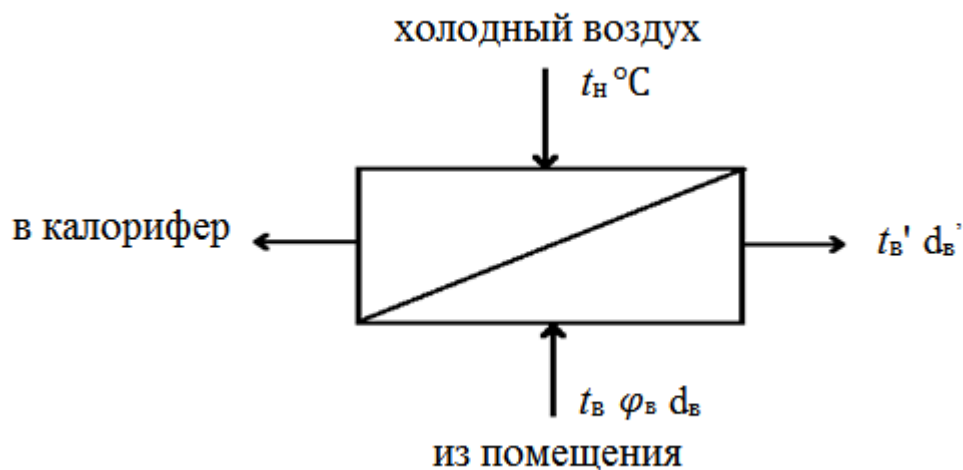


Рис. 4.1 Схема движения воздушных потоков в теплообменнике

Таблица 7

Исходные данные для расчета

№ варианта	Наименование производственного помещения	Внутренний объем помещения $V, \text{ м}^3$	Кратность воздухообмена $k, 1/\text{ч}$	Параметры воздуха внутри помещения		Температура воздуха за теплообменником $t'_в, \text{ } ^\circ\text{C}$	Температура наружного воздуха $t_n, \text{ } ^\circ\text{C}$
				$t_в, \text{ } ^\circ\text{C}$	$\varphi_в, \text{ } \%$		
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Ферма КРС на 200 гол.	6220	3,2	10	70	2	-20
2	Ферма КРС на 300 гол.	8000	4,1	10	75	4	-16
3	Птицефабрика на 5000 голов	4300	11	18	60	8	-25
4	Птицефабрика на 8000 голов	5800	10	17	65	6	-18
5	Свиноферма на 500 гол.	3850	6,0	16	75	7	-23
6	Свиноферма на 800 гол.	7100	5,5	16	70	6	-22
7	Овчарня на 600 голов	3400	5,0	5	60	1	-17

Продолжение таблицы 7

1	2	3	4	5	6	7	8
8	Овчарня на 750 голов	6100	5,3	5	65	1	-23
9	Телятник на 228 голов	4205	3,8	15	75	7	-19
10	Телятник на 300 голов	3553	3,2	14	75	7	-16
11	Птицефабрика на 11 тыс. голов	8700	10,5	20	60	9	-21
12	Птицефабрика на 7 тыс. голов	4410	11,3	18	65	8	-18
13	Ферма КРС на 120 голов	5700	4,2	10	75	4	-15
14	Ферма КРС на 180 голов	6700	4,0	10	70	5	-20
15	Свиноферма на 2000 гол	6505	5,2	16	75	7	-24
16	Свиноферма на 400 гол.	2474	6,2	17	70	9	-18
17	Телятник на 720 голов	10020	3,7	16	75	8	-17
18	Телятник на 635 голов	5920	3,4	15	70	7	-19
19	Овчарня на 800 голов	6200	5,5	5	60	1	-14
20	Птицефабрика на 2000 голов	3320	10,7	16	65	6	-12

Последовательность выполнения расчетов:

1. Расчетный воздухообмен в помещении, м³/ч

$$V_p = V \cdot k .$$

2. Плотность внутреннего воздуха при его температуре, кг/м³

$$\rho_B = \frac{346}{273 + t_B} .$$

3. Массовый секундный расход воздуха, кг/с

$$M = \frac{V_p \cdot \rho_B}{3600}.$$

4. Тепловая мощность калориферной установки, кВт

$$Q_{ку} = M \cdot C_{pB} (t_B - t_H),$$

где $C_{pB} = 1 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ — массовая изобарная теплоемкость воздуха;

t_B, t_H — температура воздуха внутри помещения и снаружи, °С.

5. Экономия мощности калориферной установки за счет регенерации теплоты в теплообменнике, кВт

$$Q_{рег} = M(h_1 - h_2),$$

где h_1, h_2 — энтальпия влажного воздуха, удаляемого из помещения до и после теплообменника, кДж/кг:

$$h_1 = C_{pB} t_B + (r + C_n t_B) d_B = 1 \cdot t_B + (2500 + 1,93 t_B) d_B \cdot 10^{-3},$$

$$h_2 = C_{pB} t'_B + (r + C_n t'_B) d'_B = 1 \cdot t'_B + (2500 + 1,93 t'_B) d'_B \cdot 10^{-3},$$

где d_B — влагосодержание воздуха при заданных t_B и φ_B , определяется по hd -диаграмме влажного воздуха (приложение), г/кг с.в.;

d'_B — влагосодержание воздуха после теплообменника при температуре t'_B , г/кг с.в.

6. Экономия тепловой энергии, %

$$\delta Q = \frac{Q_{рег}}{Q_{ку}} \cdot 100.$$

Результаты расчетов проанализировать и оформить выводом.

Тема 5. СНИЖЕНИЕ РАСХОДА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ НА ОТПЛЕНИЕ ЗДАНИЙ ПУТЕМ ЗАМЕНЫ ЭЛЕКТРОКАЛОРИФЕРОВ ТЕПЛОВЫМИ НАСОСАМИ

Воздушное отопление производственных помещений часто базируется на нагреве воздуха в калориферных установках, при этом все теплотери через ограждающие конструкции и вентиляцию компенсируются притоком тепла от калориферной установки. Если используют электрокалориферы, то их КПД можно считать равным 100%, т.е. для производства тепловой энергии расходуется эквивалентное количество электрической энергии. Замена электрокалориферных установок теплонасосными (ТНУ) позволяет снизить расход электроэнергии в несколько раз. ТНУ используют для автономного обогрева и горячего водоснабжения помещений. Они компактны, экологически чисты, т.к. работают без сжигания топлива. ТНУ предназначены для переноса теплоты от низкопотенциального источника энергии с температурой 5...35 °С к высокопотенциальному с температурой 60...80 °С. Процесс переноса теплоты осуществляется с затратой энергии, причем тепловой энергии производится больше, чем потребляется электрической.

Показатель эффективности теплового насоса — коэффициент преобразования (трансформации) тепла

$$\varepsilon_{ТН} = \frac{q_1}{l_0},$$

где q_1 — тепловая энергия, отдаваемая ТНУ в систему отопления здания, кВт,

l_0 — работа, затраченной в цикле (для парокомпрессионной ТНУ — энергия, затраченная на привод компрессора), кВт.

Величина $\varepsilon_{ТН}$ зависит от температуры низкопотенциального источника, изменяется от 3 до 10. Ниже приведены среднегодовые коэффициенты преобразования ТНУ для Западно-Сибирского региона (отопительный период 5448ч.) в зависимости от температуры низкопотенциального источника:

$t, ^\circ\text{C}$	5	10	15	20	25	30	35	40
$\varepsilon_{ТН}$	3,6	4,1	4,6	5,3	5,9	6,6	7,2	7,9

Задание

1. Определить экономию установленной мощности системы отопления и вентиляции при замене электрокалориферной установки на теплонасосную.
2. Определить годовую экономию электрической энергии по объекту с показателями работы установки по циклу Карно и показателями реального цикла.

Данные для расчета приведены в табл.8

Последовательность расчета:

1. Максимальный коэффициент эффективности теплового насоса (для цикла Карно)

$$\varepsilon_{max} = \frac{T_0}{T_b - T_0},$$

где T_0 — температура окружающей среды, принимается по средней температуре наружного воздуха за отопительный период, К;
 T_b — температура воздуха в помещении, К.

2. Тепловая мощность системы отопления и вентиляции здания, кВт

$$Q = (q_{om} + q_B)V(t_b - t_H).$$

3. Необходимая потребляемая мощность теплонаносной установки, кВт:

а) при работе по циклу Карно

$$Q_{ТНК} = \frac{Q}{\varepsilon_{max}},$$

б) для реального цикла с учетом термодинамических потерь

$$Q_{ТНР} = \frac{Q}{\varepsilon_{ТН}}.$$

4. Экономия электроэнергии за отопительный период, МВт · ч

$$\Delta Q = (Q - Q_{ТН}) \cdot \frac{\tau}{1000},$$

где τ — продолжительность отопительного периода в часах.

Дать сравнительную оценку работы ТНУ.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. СНиП 2.01.01.82 Строительная климатология и геофизика. — М.: Стройиздат, 1983.
2. СНиП 2.04.05-86 Отопление, вентиляция и кондиционирование. Нормы проектирования. — М.: Госстрой СССР, 1987.
3. СНиП 2.04.07-86 Тепловые сети. Нормы проектирования. — М.: Госстрой СССР, 1987.
4. Драганов Б.Х., Кузнецов А.В., Рудобашта С.П. Теплотехника и применение теплоты в сельском хозяйстве. — М.: Агропромиздат, 1990.
5. Захаров А.А. Применение теплоты в сельском хозяйстве. — М.: Агропромиздат, 1986.
6. Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю. Технология энергосбережения. — М.: ФОРУМ, 2010.
7. Мильман И.Э. Использование вторичных энергоресурсов в агропромышленном комплексе. — М.: ВАСХНИЛ, 1989.
8. Борзов В.П., Шабалина Л.Н. Методическое пособие по циклу практических работ для студентов специальности 311400 по курсу «Экономия энергоресурсов». — Кострома: КГСХА, 1996.

Таблица 8

Варианты индивидуальных заданий

№ варианта	Наименование объекта	Объем по наружном у обмеру V , тыс.м ³	Удельная отопительная характеристика зданий $q_{от}, \frac{Вт}{м^3 \cdot К}$	Удельная вентиляционная характеристика зданий $q_{в}, \frac{Вт}{м^3 \cdot К}$	Температура воздуха внутри помещения $t_{в}, ^\circ C$	Средняя температура наружного воздуха за отопительный период $t_{н}, ^\circ C$	Число суток отопительного периода n , сут.	Коэффициент эффективности реального цикла ϵ_{TH}
1	Ремонтная мастерская	2,5	0,7	0,23	18	-1,5	222	4,6
2	Автогараж	5	0,64	0,81	10	-4,5	224	6,1
3	СТО	4,2	0,7	0,23	18	-7,2	250	5,2
4	Теплица	7,5	1,3	-	18	-4,5	224	4,1
5	Материально-технический склад	3,5	0,45	0,1	10	-5	198	5,7
6	Кормоцех	2,2	0,6	0,25	16	-4,2	212	4,3
7	Административное здание	1,8	0,87	-	18	-3,2	219	3,2
8	Кинотеатр	3,2	0,43	0,29	14	-2,2	219	5,0
9	Столовая	1,5	0,41	0,81	16	-4,7	218	4,5
10	Столярная мастерская	1,0	0,52	0,52	18	-5,8	231	4,0
11	Административное здание	1,5	0,5	0,1	18	-4,4	217	3,8
12	Сельский клуб	1,8	0,43	0,29	18	-4,8	228	4,2
13	Универмаг	2,0	0,38	0,09	15	-3,6	213	5,8
14	Ремонтная мастерская	10	0,6	0,17	18	-4,4	217	3,4
15	СТО	6	0,65	0,2	18	-4,5	224	4,4
16	Кормоцех	2,5	0,61	0,25	17	-3,8	220	6,0
17	Столовая	1,8	0,38	0,8	16	-2,8	215	3,5
18	Склад	2,0	0,42	0,1	10	-4,5	210	5,1
19	СТО	4,7	0,65	0,2	16	-5,1	227	5,520
20	Школа	5,1	0,87	-	20	-2,5	217	6,2

