Энергетический баланс объекта. RDF топливо

Трубаев Павел Алексеевич

д-р техн. наук

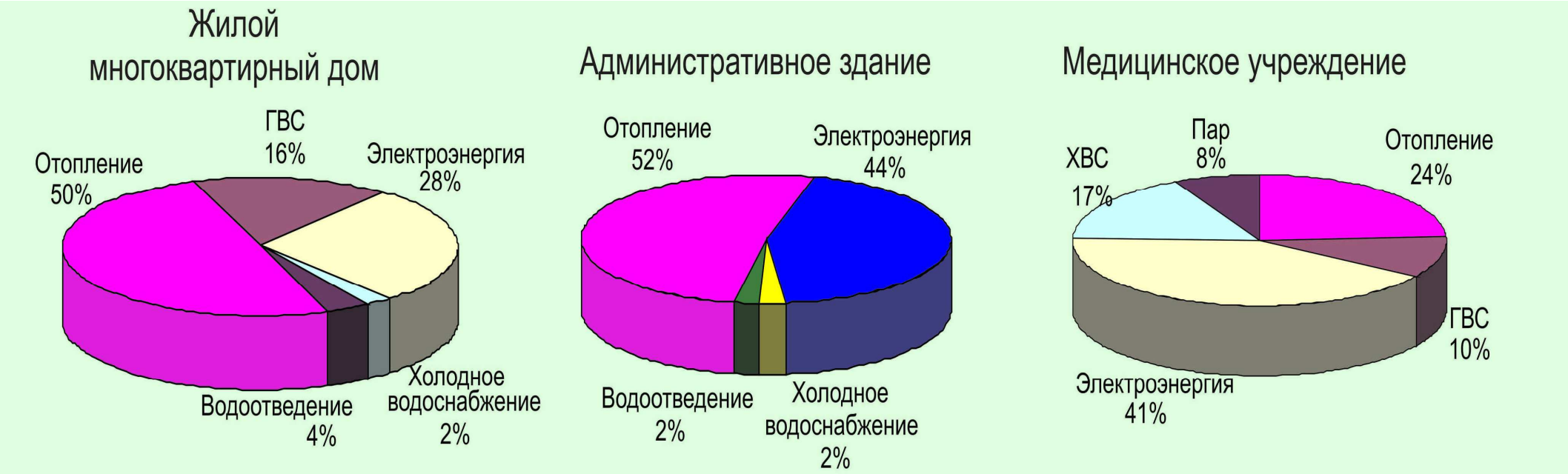
Профессор энергетического факультета БГТУ им. В.Г. Шухова

Генеральный директор ООО «Энергоэффективность и энергосбережение»

Член экспертного комитета СРО-Э-7 «Гильдия энергоаудиторов»,

Свидетельство эксперта № 07-03919 ФГБНУ НИИ РКЦЭ

СТРУКТУРА ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ЖИЛЫХ И ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ

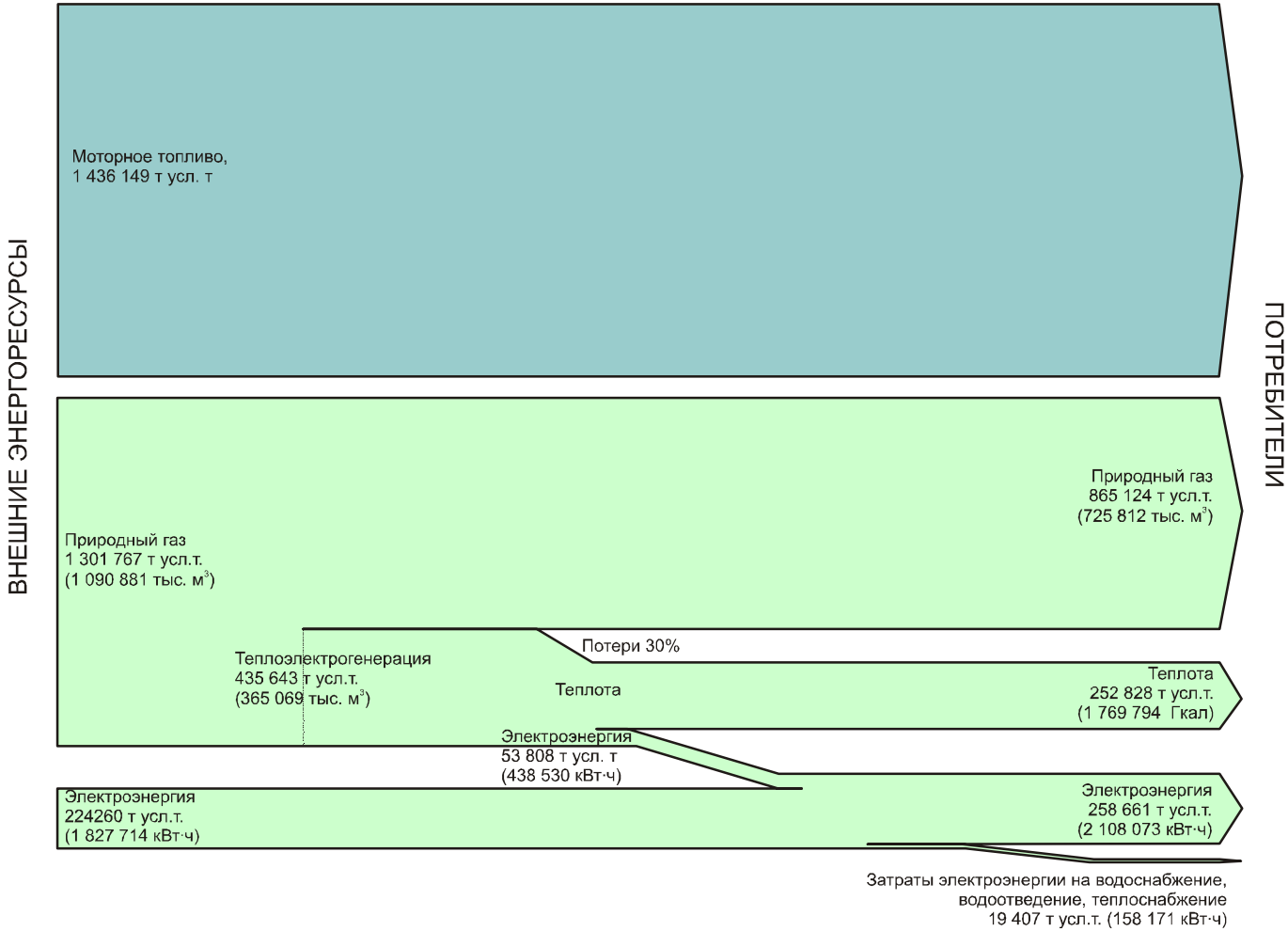


Структура энергопотребления в условном топливе

Электроэнергия		
12%	18%	20%
Тепловая энергия (отопление, ГВС, пар)		
88%	82%	80%

СТРУКТУРА ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ МУНИЦИПАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ

(г. Белгород)



Стоимость энергии, эквивалентной 1 т.у.т.

Электроэнергия (8130 кВт·ч)
26 000 … 32 500 руб.

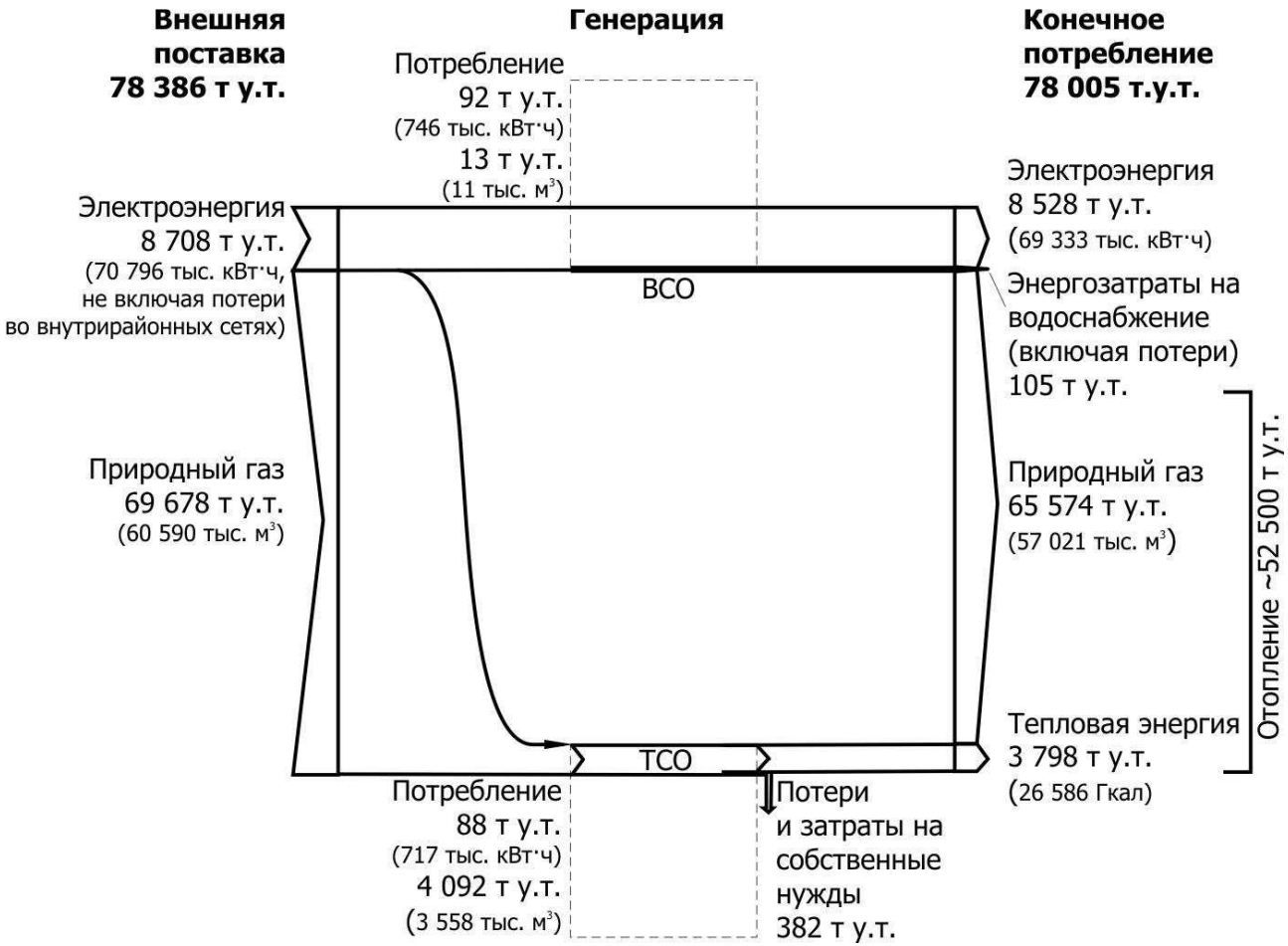
Природный газ (885 м³)
5 000 руб.

Тепловая энергия (7 Гкал)
8 400 … 15 400 руб.

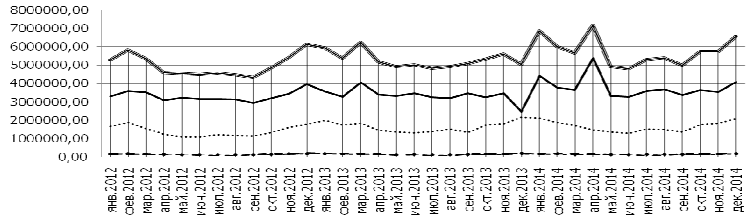
Каменный уголь (1,7 т)
6 800 …. 11 900 руб.

СТРУКТУРА ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ МУНИЦИПАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ

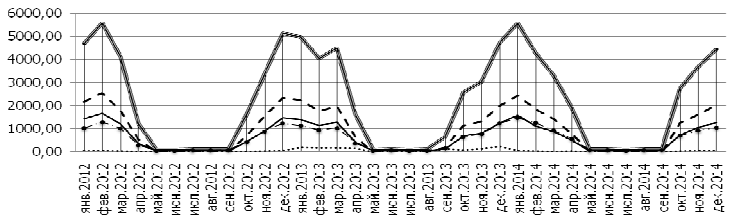
(Грайворонский район)



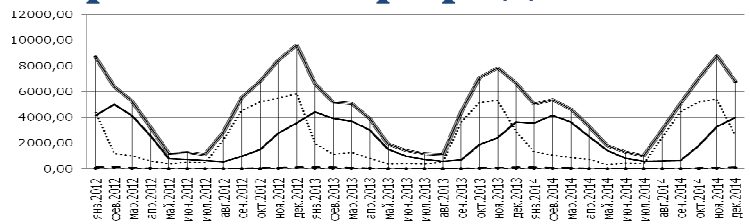
Электропотребление



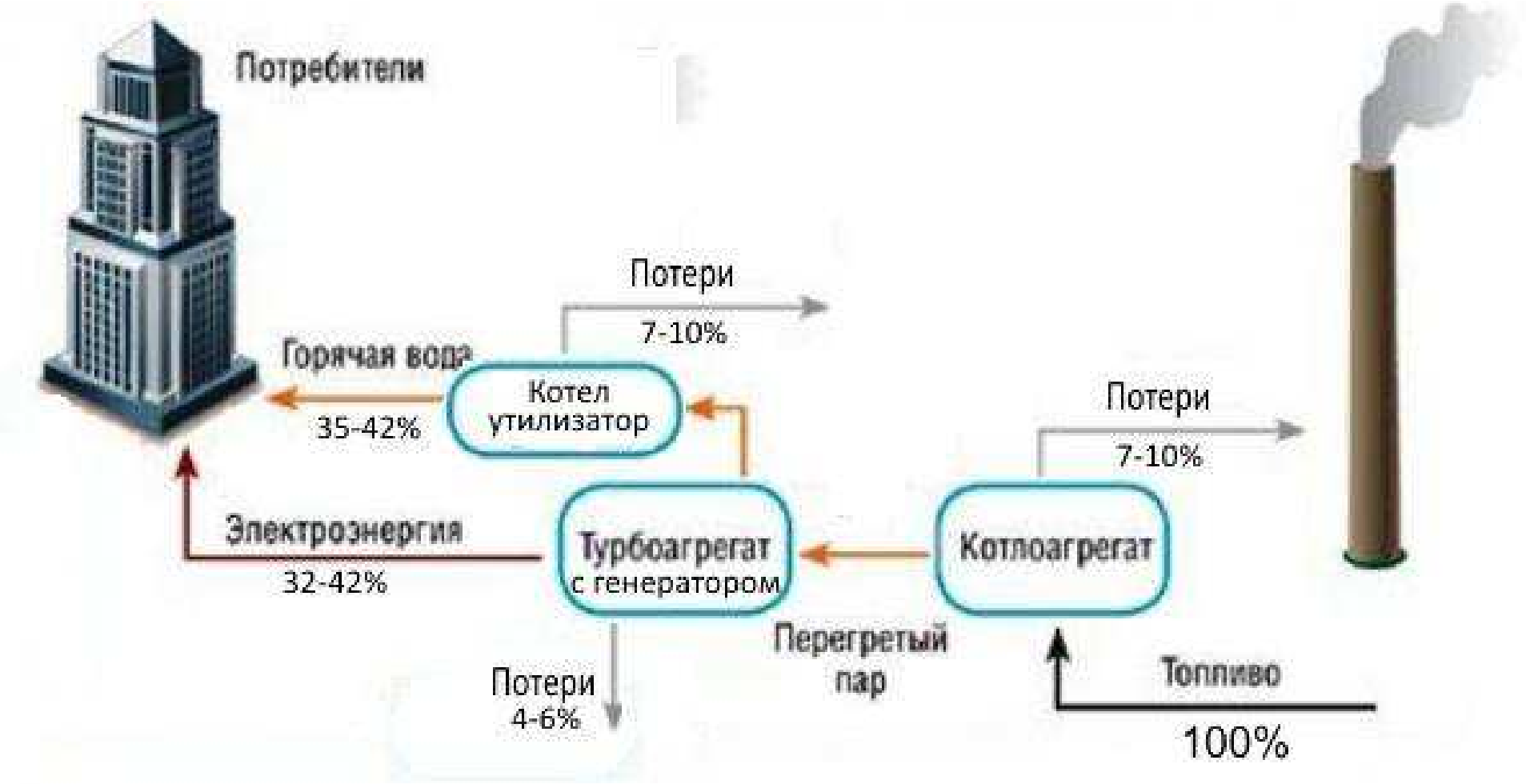
Теплопотребление



Потребление природного газа



ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ БАЛАНС ТИПОВОЙ ТЭС



1 т.у.т. = 2 600…3200 кВт·ч + 2,5…2,8 Гкал

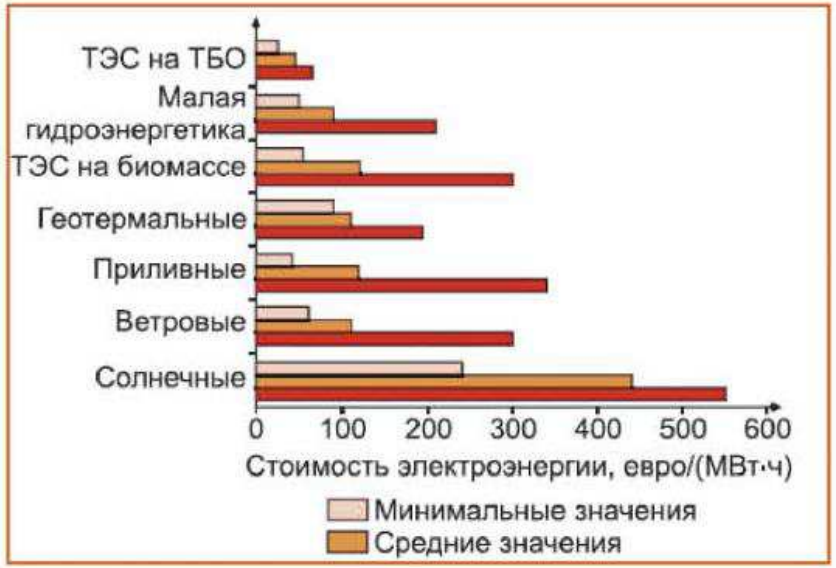
УКРУПНЕННАЯ СТРУКТУРА СЕБЕСТОИМОСТИ ТЕПЛОТЫ

в индивидуальных котельных и ТЭЦ небольшой мощности

Статьи	Тепловая энергия, руб/Гкал			Электроэнергия, руб/кВт·ч	
	Газовая котельная		Котельная на древес-ных отходах	Газовая ТЭЦ	ТЭЦ на древесных отходах
	Без диспет-черизации	С системой диспет-черизации			
Энергоресурсы					
Топливо	715,8	715,8	261,0	1,50	0,55
Электроэнергия на производственные нужды	70,4	70,4	98,1	–	–
Прямые затраты					
Затраты на оплату труда ОПП с ЕСН	804,1	114,5	617,1	0,60	0,74
Ремонт	28,2	28,2	804,1	0,40	1,00
Общехозяйственные расходы					
Служба диспетчеризации	–	126,5	–	–	–
Прочее	358,1	358,1	80,5	0,40	0,40
Итого без капи-тальных затрат	**1976,6**	**1413,5**	**1243,6**	**2,90**	**2,69**
Амортизационные отчисления	518,1	518,1	317,3	0,60	0,93
ИТОГО	**2494,7**	**1931,6**	**1560,9**	**3,50**	**3,62**

МЕТОДЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТБО

<table>
<tr><th colspan="3">Методы переработки</th><th colspan="2">Получаемые продукты</th></tr>
<tr><td rowspan="5">Утилизация отходов</td><td rowspan="2">Сжигание</td><td>Слоевое</td><td colspan="2" rowspan="2">Тепловая энергия, электроэнергия</td></tr>
<tr><td>Пылевидное (в кипящем или взвешеном слое)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Термическое разложение</td><td>Газофикация</td><td rowspan="4">Синтез-газ, свалочный газ, твердое топливо, жидкое топливо</td><td rowspan="4">Тепловая энергия, электро-энергия</td></tr>
<tr><td>Пиролиз</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Биоразложение</td><td>Биогазовые станции</td></tr>
<tr><td>Ественное брожение</td></tr>
</table>



Общая себестоимость получения электроэнергии на электростанциях различных типов на основе возобновляемых источников энергии (обобщённые данные [1] и [2]).

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ УТИЛИЗАЦИИ ТБО

В настоящее время не существует идеального решения для устранения ТБО, которое позволило бы экономически эффективно и в максимальном объеме утилизировать вторичное сырье или энергию без образования производственных отходов, выбросов загрязняющих веществ в атмосферу и сбросов сточных вод.

СКЛАДИРОВАНИЕ ТБО НА ПОЛИГОНАХ

Преимущества	Недостатки
1. Экономическая целесообразность. 2. Техническая простота организации.	1. Не обеспечивает бактериологическую и эпидемиологическую безопасность. 2. Вывод из оборота территорий большиой площади. 3. Образованию диоксинов при самовозгорании. 4. Выделение метана и парниковых газов.

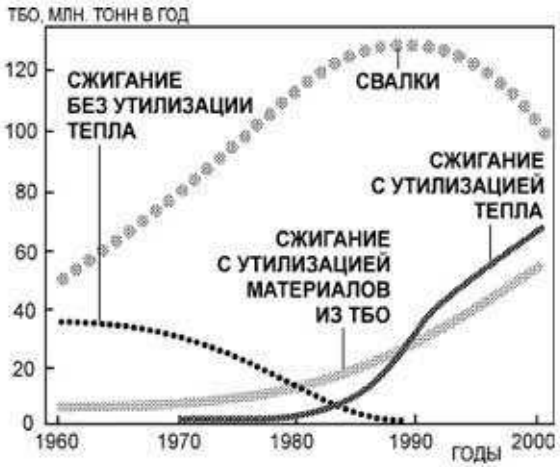
СЖИГАНИЕ ТБО

Преимущества	Недостатки
1. Полное обеззараживание бытовых отходов. 2. Уменьшение объема отходов в 10-20 раз, а массы – в 3-4 раза. 3. Сокращение содержащихся в отходах загрязняющих веществ. 4. Производство инертных остатков отходов, экологически безопасное складирование на полигонах. 5. Использование содержащейся в отходах энергии.	1. Выбросы в атмосферу диоксинов и полиароматических углеводородов. 2. Горение требует применения дополнительного топлива.

СПОСОБЫ УТИЛИЗАЦИИ ТБО

(Европейская практика обращения с отходами: проблемы, решения, перспективы. – С.Пб.: НП РЭП, 2004. – 73 с.)

Страна	Общий объем отходов	Охват насе-ления	Втори-чная пере-работка	Компости рование	Сжигание с получением энергии	Сжигание, всего	Захоронение на полигонах	Другое
Австрия	3 096	100%	34%	15%	15%	15%	29%	7%
Бельгия	5 473	100%	22%	16%	23%	27%	32%	...
Чешская рес-публика	3 434	100%	...	...	...	...	...	0%
Дания	3 546	100%	22%	16%	52%	52%	10%	...
Финляндия	2 400	100%	...	...	8%	8%	60%	...
Франция	30 744	100%	10%	8%	28%	33%	48%	...
Германия	44 094	100%	34%	7%	0%	21%	37%	1%
Греция	3 900	85%	8%	0%	...	...	91%	...
Венгрия	4 084	85,1%	...	...	9%	9%	91%	...
Исландия	192	99%	9%	2%	3%	9%	81%	...
Ирландия	2 302	...	8%	1%	...	...	91%	...
Италия	27 425	100%	7%	9%	4%	6%	78%	...
Люксембург	227	100%	0%	15%	59%	59%	26%	...
Нидерланды	9 691	100%	23%	24%	41%	41%	13%	...
Норвегия	2 755	99%	22%	9%	15%	15%	55%	...
Польша	12 226	...	0%	2%	...	...	98%	...
Португалия	4 531	96%	6%	6%	21%	21%	67%	...
Словакия	1 706	96%	2%	5%	12%	12%	62%	19%
Испания	18 377	...	5%	18%	5%	6%	72%	...
Швеция	4 000	100%	25%	8%	35%	35%	33%	...
Швейцария	4 681	99%	32%	14%	48%	48%	6%	...
Великобритания	33 200	...	9%	2%	8%	8%	81%	0%
Россия	26 000	73%	...	1%	...	4%	95%	...
Всего	248 084	...	13%	8%	11%	16%	61%	1%



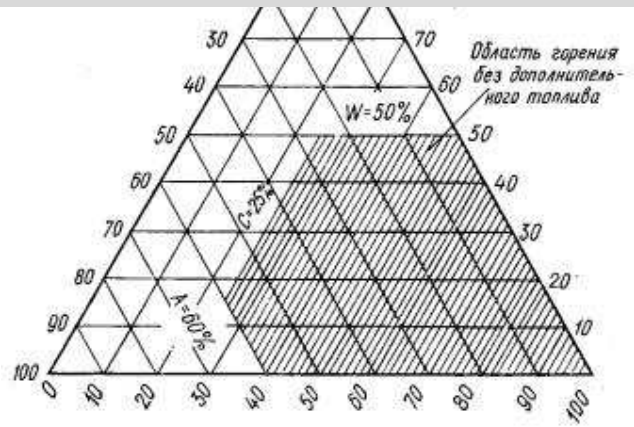
Соотношение способов переработки бытовых отходов в США

СОСТАВ РАЗЛИЧНЫХ ТОПЛИВ

Состав компонентов ТБО

Компоненты ТБО	Массовый состав, %							Выход летучих в % на горючую массу	$Q^р_н$, МДж/кг
	$C^р$	$H^р$	$O^р$	$N^р$	$S^р$	$A^р$	$W^р$		
Бумага	27,7	3,7	28,3	0,16	0,14	15	25	79	9,49
Пищевые отходы	12,6	1,8	8	0,95	0,15	4,5	72	65,2	3,43
Текстиль	39,4	4,9	23,2	3,4	1,1	8	20	84	15,72
Древесина	40,5	4,8	33,8	0,1	—	0,8	20	67,9	14,46
Кожа, резина	65	5	12,6	0,2	0,6	11,6	5	49	25,8
Пластмасса	55,1	7,6	17,5	0,9	0,3	10,6	8	89	24,37
Отсев	13,9	1,9	14,1	—	0,1	50	20	54	4,6
Зола, шлак	25,2	0,45	0,7	—	0,45	63,2	10	2,7	8,65
Прочие отходы	47	5,3	27,7	0,1	0,2	11,7	8	60,2	18,14
Стекло, камни, металл	—	—	—	—	—	100	—	—	—

Область теоретически устойчивого горения ТБО разного состава без дополнительного топлива



Показатель	Ед. изм.	RDF - топливо	Древесина	Бурый уголь	Каменный уголь
Влажность $W^р$	%	7,0…25,5	5…30	20…30	до 12%
Зольность $A^р$	%	14,0…17,3	1	10…25	до 30%
Выход летучих	%	64,2…78,0	68	45…65	до 32%
Низшая теплота сгорания	ккал/кг	3800…4850	3500	5250…7400	5500…8000
	МДж/кг	15,9…20,3	14,5	22…31	23…33,5
Общий углерод C	%	46,0±1,0	40,5	60…75	75…95
Общий водород H	%	6,3±0,3	5	6	4…6
Азот N	%	0,27±0,01	0,1	0…2	до 2,7%
Общая сера S	%	8,30±0,03	–	0,5…3	0,7…4
Хлор Cl	%	0,80±0,02	–	–	–
Кислород	%	39,0±1,5	34	17…34	16

ПРОЕКТЫ ПО ТЕРМИЧЕСКОЙ УТИЛИЗАЦИИ ТБО

Исполнитель	ЭкоМашГрупп (РФ) ecomg.ru	Ramboll Group A/S (Дания) ramboll.dk			Oschatz GmbH (Германия) oschatz.com	Splainex (Голландия) splainex.com	ООО “Уральская энергетика» (РФ) urgk.ru	
Местоположение проекта	Комплекс EcoMachine AMR-100, Тверь	Мусоро-сжигательный завод в Роскильде, Дания	Мусоро-сжигательный завод в Брешии, Италия	Мусоро-сжигательный завод в Абу Даби, ОАЭ	Установка для сжигания альтернативных видов топлив в Улан – Удэ, Россия	Пиролизная установка для производства тепла и электроэнергии, проект	Контейнерная паровая электростанция на базе малых паровых турбин PARSONS (проект)	
Год Пуска	2009	2002	2004	2009	2012	–	–	–
Мощность: по э/э по теплоте	100 кВт 90 МКал	20 МВт 60 МВт	70 МВт 85 МВт	100 МВт –	1 МВт 25 МВт	–	500 кВт –	200 кВт 230 кВт
Производительность	До 200 кг/ч	200 000 т/год	236 т/ч	1 000 000 т/год	7,281 т/ч	–	–	870 кг/час
Способ сжигания	–	Слоевое сжигание	Слоевое сжигание	Сжигание на колосниковых решетках	Система колосниковой решетки	–	Топка КСОМОД (слоевой способ)	
Параметры пара	–	5 МПА, 425˚С		Пар высокого давления	48,6 т/ч	–	4,5 т /ч	–
Объем инвестиций	–	€175 миллионов	€175 миллионов	€200 миллионов	–	–	19 млн. руб.	18 млн руб.

ОСНОВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ПРИ СЖИГАНИИ RDF-ТОПЛИВА

Таблица. Концентрация некоторых компонентов в неочищенных газообразных продуктах сгорания ТБО (при нормальных условиях).

Вещество	Типичные концентрации на зарубежных заводах, мг/м³	МСЗ № 2, мг/м³
Пыль	1000-5000	1200
HCl	50-1000	120
HF	10-50	7
SO_2	50-400	120
NO	50-400	210
CO	не более 30	30

Твёрдые остатки:

- **шлак,** выгружаемый из топочного устройства (до 90% при слоевом сжигании и 70-80% для топках с ВКС)
- **зола-унос** (1030 кг/т ТБО при сжигании на КР и до 80 кг/т ТБО – при сжигании в ВКС)
- **продукты газоочистки** – смесь твёрдых продуктов реакций, остатков реагентов и мелкофракционной остаточной золы-уноса (25-35 кг/т ТБО)

Газообразные выбросы:

Наимено-вание	ПДК (мр/сс/рз), мг/м³	Класс опасн.	Вредное воздействие на человека
Углерода оксид CO	5 / 3 / 20	4	Головная боль, эмоциональная неустойчивость, ухудшаются внимание и память. Возможны органические поражения нервной системы, сосудистые спазмы.
Азота диоксид NO_2 (NO)	0,2 / 0,04 / 2 (0,4 / 0,06 / 5)	4	Острый раздражитель, канцероген. Значительные количтества NO возбуждающе действуют на нервную систему
Аммиак NH_3	0,2 / 0,04 / 20	4	Поражает глаза и дыхательные пути. Вызывает сильный кашель, удушье, при высокой концентрации паров - возбуждение, бред. При высоких концентрациях смертельный исход
Меркаптан R-SH	0,007 / – / 1	3	Наздражает глаза, кожу и дыхательные пути, вызывает отек легких, действут на центральную нервную систему, приводя к дыхательной недостаточности
Серово-дород H_2S	0,008 / – / 3	3	Наздражает глаза, кожу и дыхательные пути, вызывает отек легких, действут на центральную нервную систему, вызвая потерю сознания
Фенол	0,007 / – / 0,03	3	Нарушение дыхательных функций, ЦНС. При хронических отравления - нарушение функций печени и почек
Диоксины и фураны	0,5 / – / –	1	Канцероген. Высокая биологическая активность. накапливаются в почве.

ПРАКТИКА СЖИГАНИЯ ОТХОДОВ НА «ТК ЭКОТРАНС»

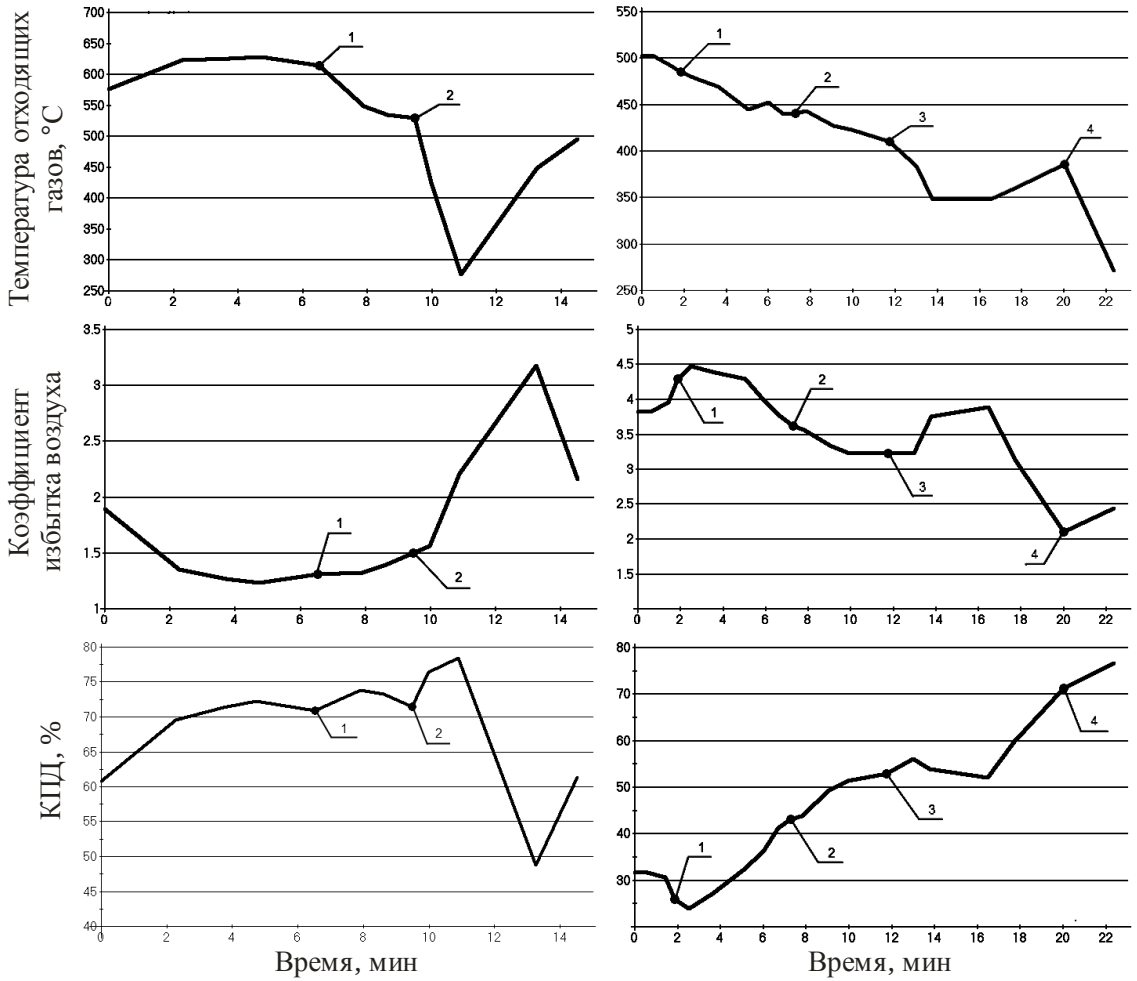
Пиролизный котел «Буржуй»

Паспортные данные котла:

Тепловая мощность ..... 100 кВт
Площадь отапливаемого помещения (при высоте потолка 3м) ..... 900 м²
КПД 80-90%
Рабочая температура ..... 90 °С
Рабочее давление ..... 2-3 бар
Объем топки ..... 0,65 м³
Вес котла ..... 950 кг
Расход топлива ..... 0,36 м³/сут.

а) серия 1:
1 – закрытие шибера;
2 – закладка брикетов

б) серия 2:
1 – перекрытие окна на 50%; 2 – полное открытие окна; 3 – закладка брикетов; 4 – закрытие шибера и заслонки

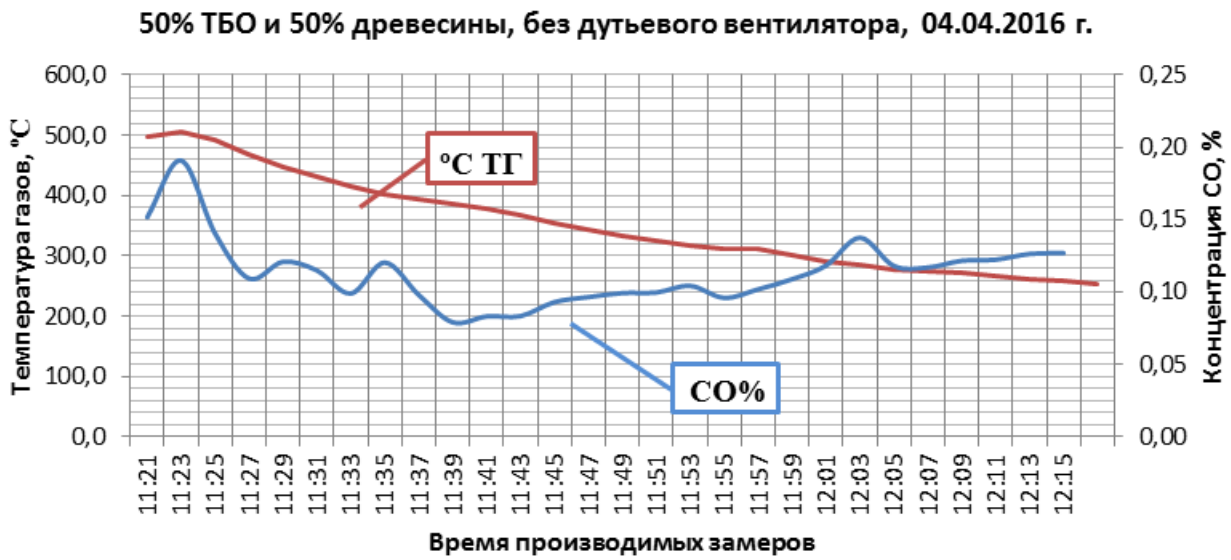


ПРАКТИКА СЖИГАНИЯ ОТХОДОВ НА «ТК ЭКОТРНАС»

Пиролизный котел «Буржуй». Концентрации вредных веществ, мг/м3

Топливо	NO_2	NO	CO	CH_4	Фенол	Бензол	SO_2	Формальдегид	HCl
Результаты измерений проб, взятых в газоходе за котлом									
Шпалы	12,2	11, 4	123	237	<0,0015	99,1	6,44	1,97	0,472
Древесина (сосна)	0,5	0,5	204	203	0,786	<2,5	<0,025	<0,0015	1,73
Отходы древесины (окна, двери, мебель)	8,9	53,6	267	2328	12	166	4,71	14,6	0,326
Древесные гранулы	11,6	13,6	267	1095	0,777	<2,5	<0,025	0,898	1,6
RDF-топливо	0,9	6,6	94,1	1686	0,063	29,7	<0,025	7,88	0,151
Смесь древесных гранул и RDF-топлива	8,6	57,3	267	1164	<0,0015	65,3	<0,025	9,1	0,874
Расчётная приземная концентрация									
Шпалы	0,0001	0,0001	0,001	0,002	$<0{,}013\cdot10^{-6}$	0,0009	$57{,}4\cdot10^{-6}$	$17{,}6\cdot10^{-6}$	$4{,}2\cdot10^{-6}$
Древесина (сосна)	$4{,}5\cdot10^{-6}$	$4{,}5\cdot10^{-6}$	0,002	0,002	$7\cdot10^{-6}$	$<22{,}3\cdot10^{-6}$	$<0{,}223\cdot10^{-6}$	$<0{,}013\cdot10^{-6}$	$1{,}54\cdot10^{-6}$
Отходы древесины (окна, двери, мебель)	$79{,}4\cdot10^{-6}$	0,0005	0,002	0,021	0,0001	0,0015	$42\cdot10^{-6}$	$130{,}2\cdot10^{-6}$	$2{,}9\cdot10^{-6}$
Древесные гранулы	0,0001	0,0001	0,002	0,010	$6{,}9\cdot10^{-6}$	$<22{,}3\cdot10^{-6}$	$<0{,}223\cdot10^{-6}$	$8\cdot10^{-6}$	$1{,}43\cdot10^{-6}$
RDF-топливо	$8\cdot10^{-6}$	$58{,}9\cdot10^{-6}$	0,001	0,015	$0{,}6\cdot10^{-6}$	0,0003	$<0{,}223\cdot10^{-6}$	$70{,}3\cdot10^{-6}$	$1{,}3\cdot10^{-6}$
Смесь древесных гранул и RDF-топлива	$76{,}7\cdot10^{-6}$	0,0005	0,002	0,010	$<0{,}013\cdot10^{-6}$	0,0006	$<0{,}223\cdot10^{-6}$	$81{,}2\cdot10^{-6}$	$7{,}8\cdot10^{-6}$
Предельно-допустимые концентрации (ГН 2.1.6.1338-03, ГН 2.2.5.686-98)									
В атмосферном воздухе: максимально разовая среднесуточная	0,085 0,04	0,4 0,06	5 3		0,01 0,003	0,3 0,1	0,5 0,05	0,035 0,003	–
В воздухе производственных помещений	2	5	20	7000	0,1	15(5)	10	0,5	5

ПРАКТИКА СЖИГАНИЯ ОТХОДОВ НА «ТК ЭКОТРНАС»

Водогрейный котел с колосниковой решеткой

Дата	Режим работы котла	Температура уходящих газов	Расчетная приземная концентрация, мг/м3					
			Углерода оксид CO	Азота диоксид NO_2	Аммиак	Меркаптан	Сероводород H_2S	Фенол
04.04.16	50% ТБО, 50% древесины, без вентилятора	366	0,0422	0,001185	0,018019	0,001185	0,000211	0,000231
		284	0,0789	0,001632	0,015452	0,001513	0,000157	0,000215
	50% ТБО, 50% древесины, с вентилятором	350	0,0894	0,000684	0,015839	0,000884	0,000114	0,000118
		233	0,1737	0,001463	0,0	0,001168	0,000079	0,000055
29.03.16	50% ТБО, 50% древесины, без вентилятора	303	0,0462	0,001160	0,0	0,001650	0,000069	0,000075
		246	0,1275	0,001657	0,012338	0,002280	0,000084	0,000054
	30% ТБО, 70% древесины, свентиотором	409	0,0185	0,001357	0,003311	0,0	0,000096	0,0
		320	0,0485	0,003805	0,005407	0,0	0,000241	0,0
	30% ТБО, 70% древесины, без вентилятора	267	0,1389	0,006434	0,006749	0,000391	0,000172	0,0000058