ЕВРАЗИЙСКИЙ СОВЕТ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ, МЕТРОЛОГИИ И СЕРТИФИКАЦИИ
(EACC)
EURO-ASIAN COUNCIL FOR STANDARDIZATION, METROLOGY AND CERTIFICATION
(EASC)

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ

ГОСТ 33706— 2015

УПАКОВКА

Оптимизация использования упаковочных отходов в качестве вторичных энергетических ресурсов

Издание официальное

Зарегистрирован
№ 11942
29 декабря 2015 г.

Минск
Евразийский совет по стандартизации, метрологии и сертификации

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

Евразийский совет по стандартизации, метрологии и сертификации (ЕАСС) представляет собой региональное объединение национальных органов по стандартизации государств, входящих в Содружество Независимых Государств. В дальнейшем возможно вступление в ЕАСС национальных органов по стандартизации других государств.

Цели, основные принципы и основной порядок проведения работ по межгосударственной стандартизации установлены ГОСТ 1.0—92 «Межгосударственная система стандартизации. Основные положения» и ГОСТ 1.2—2009 «Межгосударственная система стандартизации. Стандарты межгосударственные, правила и рекомендации по межгосударственной стандартизации. Правила разработки, принятия, применения, обновления и отмены».

Сведения о стандарте

1 РАЗРАБОТАН Республиканским государственным предприятием «Казахстанский институт стандартизации и сертификации» Комитета технического регулирования и метрологии Министерства по инвестициям и развитию Республики Казахстан

2 ВНЕСЕН Комитетом технического регулирования и метрологии Министерства по инвестициям и развитию Республики Казахстан

3 ПРИНЯТ Евразийским советом по стандартизации, метрологии и сертификации по результатам голосования в АИС МГС (протокол 83-П от 28 декабря 2015 г.)

За принятие стандарта проголосовали:

Краткое наименование страны по МК (ИСО 3166) 004—97	Код страны по МК (ИСО 3166) 004—97	Сокращенное наименование национального органа по стандартизации
Армения	AM	Минэкономики Республики Армения
Беларусь	BY	Госстандарт Республики Беларусь
Казахстан	KZ	Госстандарт Республики Казахстан
Кыргызстан	KG	Кыргызстандарт
Российская Федерация	RU	Росстандарт
Таджикистан	TJ	Таджикстандарт
Узбекистан	UZ	Узстандарт

4 Проект стандарта разработан с учетом национального стандарта Республики Казахстан СТ РК 1785-2008 (CR 13686:2001, MOD) «Упаковка. Оптимизация энергетического использования упаковочных отходов в качестве вторичных энергетических ресурсов»

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Информация о введении в действие (прекращении действия) настоящего стандарта и изменений к нему на территории указанных выше государств публикуется в указателях национальных (государственных) стандартов, издаваемых в этих государствах, а также в сети Интернет на сайтах соответствующих национальных (государственных) органов по стандартизации.

В случае пересмотра, изменения или отмены настоящего стандарта соответствующая информация также будет опубликована в сети Интернет на сайте Межгосударственного совета по стандартизации, метрологии и сертификации в каталоге «Межгосударственные стандарты»

Исключительное право официального опубликования настоящего стандарта на территории указанных выше государств принадлежит национальным (государственным) органам по стандартизации этих государств.

Содержание

1	Область применения	1
2	Нормативные ссылки	1
3	Термины, определения, сокращения	2
4	Упаковка и упаковочные отходы	2
4.1	Упаковочные отходы	2
4.2	Оптимизация тепла	3
4.3	Система сбора и подготовка	4
4.4	Преобразование энергии и выработка низшей теплоты сгорания	5
4.5	Сгорание	5
4.6	Утилизация теплосодержания в газообразных продуктах сгорания	5
4.7	Преобразование энергии в электрическую и(или) тепловую	6
5	Требования к утилизации упаковки в качестве топлива	6
5.1	Коэффициент термического усиления	6
5.2	Содержание золы	6
5.3	Другие дополнительные требования	
6	Теоретическое определение коэффициента термического усиления	7
7	Определение низшей теплоты сгорания	11
8	Теоретическое и практическое осуществление	12
9	Определение коэффициента термического усиления	14
10	Выводы	15
Приложение А (справочное) Коэффициент термического усиления и методы подсчета		17

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ

УПАКОВКА
Оптимизация использования упаковочных отходов в качестве вторичных энергетических ресурсов

Packaging. Optimizing the use of packaging waste as a secondary energy resources

Дата введения –

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает требования к упаковочным отходам, предназначенным для использования в качестве энергетических ресурсов и упаковочных отходов, предназначенных для оптимизации возврата тепла и определяет требования к процессам утилизации упаковочных отходов в качестве топлива.

Требования настоящего стандарта предназначены для индивидуальных предпринимателей, юридических лиц, объединений юридических лиц, организаций (далее – предприятия) независимо от форм собственности и ведомственной подчиненности, деятельность которых связана с обращением с упаковочными отходами.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы ссылки на следующие межгосударственные стандарты:

ГОСТ 147–2013 (ISO 1928:2009) Топливо твердое минеральное. Определение высшей теплоты сгорания и расчет низшей теплоты сгорания

ГОСТ 30772–2001 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Термины и определения

ГОСТ 33521–2015 Ресурсосбережение. Упаковка. Термины и определения.

ГОСТ 33753–2016 Упаковка. Утилизация использованной упаковки в качестве топлива

ГОСТ 34030.1–2016 Упаковка. Требования к измерению и установлению четырех тяжелых металлов и других опасных субстанций в упаковке и их поступлениям в окружающую среду. Часть 1. Требования к измерению и установлению четырех тяжелых металлов в упаковке

ГОСТ 33523–2015 Ресурсосбережение. Упаковка. Требования к использованной упаковке для ее переработки в качестве вторичных энергетических ресурсов

Примечание – При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов на территории государства по соответствующему указателю стандартов, составленному по состоянию на 1 января текущего года, и по соответствующим информационным указателям, опубликованным в текущем году. Если ссылочный документ

Издание официальное

заменен (изменен), то при пользовании настоящим стандартом, следует руководствоваться замененным (измененным) стандартом. Если ссылочный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины, определения и сокращения

В настоящем стандарте применены термины по ГОСТ 147, ГОСТ 30772, ГОСТ 33521, а также следующие термины с соответствующими определениями и сокращения:

3.1 **вторичные энергетические ресурсы (ВЭР)**: Отходы производства и потребления, используемые повторно, с выделением тепловой и/или электрической энергии.

3.2 **использованная упаковка**: по ГОСТ 33753.

3.3 **коэффициент термического усиления**: Положительная разница между выделенной энергией при сжигании материала (низшая теплота сгорания) и необходимой энергией (H_a).

3.4 **низшая теплота сгорания (теплотворная способность)**: Величина энергии, выделившейся при сгорании единицы массы твердого топлива из бытовых отходов, сожженного в атмосфере кислорода в калориметрической бомбе при таких условиях, когда вся вода остается в виде водяного пара при давлении 0,1 МПа.

3.5 **необходимая энергия H_a**: Энергия, необходимая для адиабатического плавления сжигаемых веществ и избытка воздуха от температуры окружающей среды до установленной конечной температуры.

3.6 **номинальный коэффициент термического усиления**: Регенерированное тепло, обеспечивающее полезную энергию.

3.7 **топливо, полученное из упаковок**: Топливо, полученное из использованных упаковок и их компонентов, пригодных для сжигания.

3.8 **упаковочные отходы**: по ГОСТ 33753.

В настоящем стандарте используются следующее сокращение:

ТКО –твердые коммунальные отходы.

4 Упаковка и упаковочные отходы

4.1 Упаковочные отходы

Упаковочные отходы, не пригодные для использования в качестве вторичных материальных ресурсов, могут использоваться для утилизации в энергетических целях, но, при этом, упаковка, представленная на рынке, должна отвечать определенным требованиям.

Упаковочные отходы должны соответствовать минимальному значению коэффициента термического усиления для оптимизации утилизации их в энергетических целях.

На рисунке 1 показан последовательный процесс обращения с упаковкой и упаковочными отходами, в результате которого не изменяются химические свойства отходов, являющиеся основными при утилизации в энергетических целях.

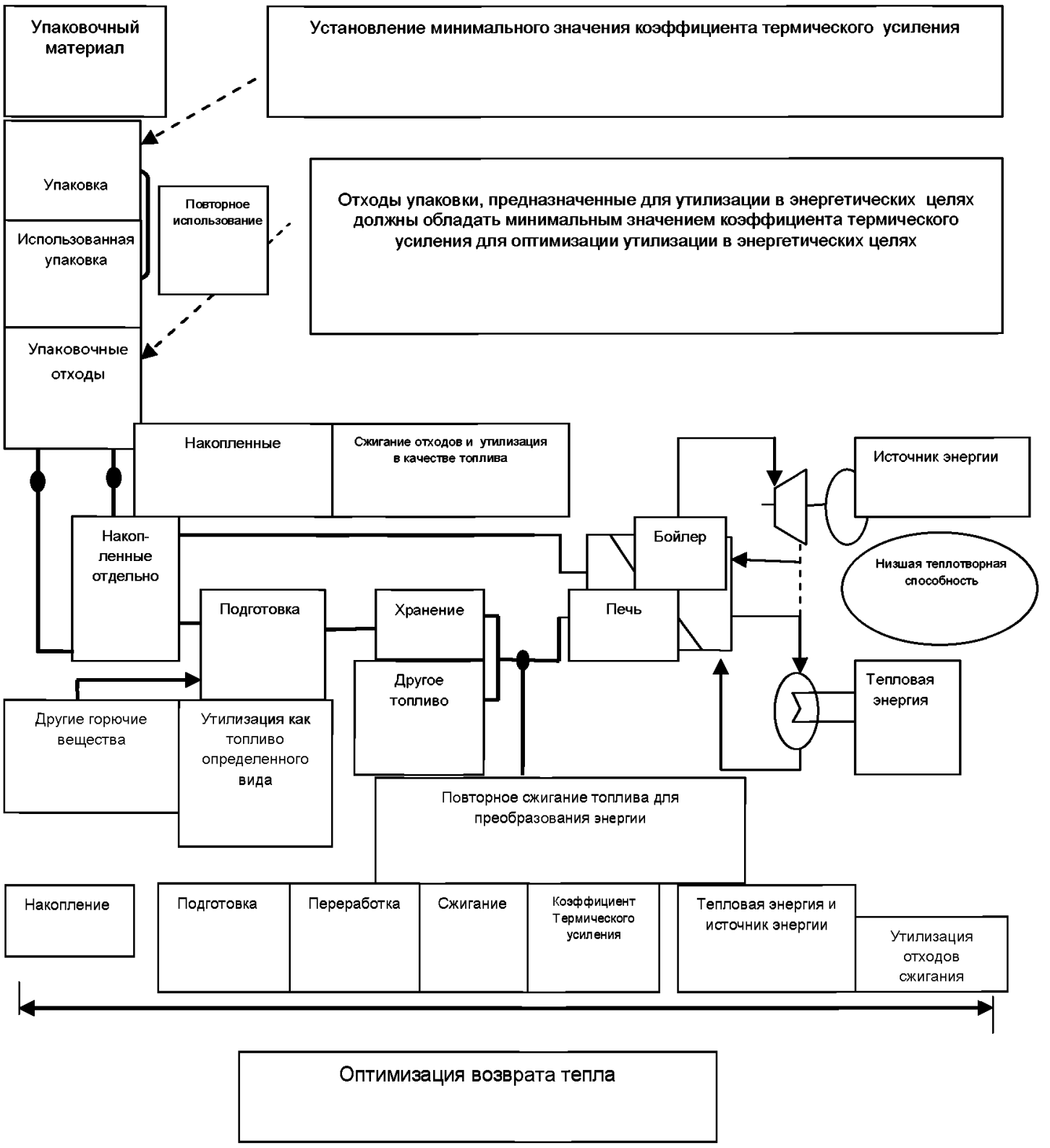


Рисунок 1 – Комплексная система оптимизации возврата тепла

4.2 Оптимизация возврата тепла

Оптимизация возврата тепла от упаковочных отходов затрагивает комплексную систему, учитывая качество упаковки, систему сбора, подготовки хранения отходов, и преобразование энергии для обеспечения низшего коэффициента термического усиления (см. рисунок 1). Некоторые этапы, включенные в комплексную систему, не относятся к самой упаковке и, таким образом, не считаются важными для требований к упаковке.

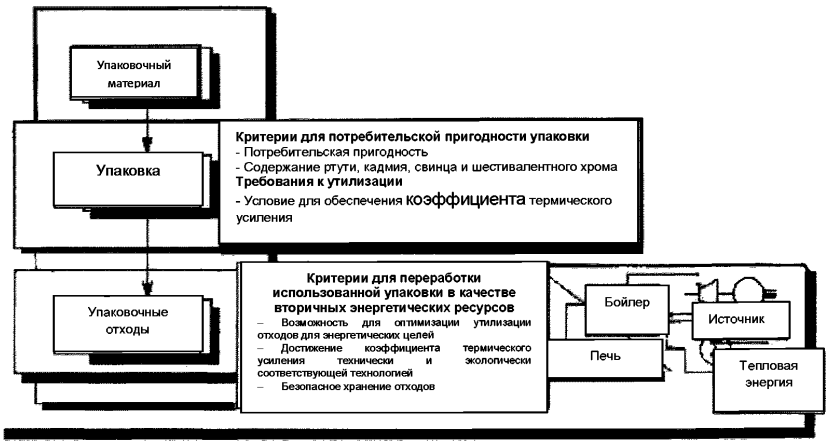


Рисунок 2 – Общие требования к оптимизации упаковки. Критические области для утилизации использованной упаковки в качестве вторичных энергетических ресурсов

Для оптимизации утилизации использованной упаковки в качестве вторичных энергетических ресурсов в действующей промышленной системе следует предварительно оценивать теоретические возможности получения тепла, которое однозначно выше нулевой отметки. Удельная теплотворная способность Q_{net} должна составлять минимум 5 МДж/кг отходов при целесообразности утилизации использованной упаковки в качестве вторичных энергетических ресурсов.

4.3 Система сбора и подготовка

Для оптимизации возврата тепла после использования упаковки система сбора отходов должна организовываться и осуществляться таким образом, чтобы сохранить запас энергии и другие топливные свойства от использованной легковоспламеняющейся упаковки. Степень подготовки, необходимая для преобразования упаковочных отходов в топливо, зависит от возможностей предприятий по преобразованию энергии.

На сегодняшний день преобладают два способа сбора и предварительной подготовки упаковочных отходов с целью дальнейшего получения энергии:

1) упаковочные отходы собраны вместе с ТКО для прямого сжигания на установке по сжиганию ТКО. Данный способ практичен, испытан и требует небольшой предварительной обработки разнородных отходов;

2) упаковочные отходы сортируют с целью отделения трудногорючих упаковочных отходов от легковоспламеняющихся. Отделение трудногорючих и подготовка легковоспламеняющихся упаковочных отходов допускает выработку макроэргического твердого топлива, обладающего особыми свойствами.

Полученные виды горючего могут использоваться как самостоятельно, так и при совместном сжигании с другими видами топлива в существующих топливных системах сжигания твердого топлива. Во всех этих процессах легко-воспламеняющиеся упаковочные отходы заменяют первичное топливо.

4.4 Преобразование энергии и выработка низшей теплоты сгорания

Преобразование химически связанной энергии для получения низшей теплоты сгорания состоит из трех основных этапов:

– сжигание топлива в камере сгорания с получением горячих топочных газов и зольного остатка в виде пепла и шлаков;

– утилизация теплосодержания горячих топочных газов в системе восстановления тепла;

– преобразование восстановленного тепла для обеспечения энергией в виде электричества и (или) тепла.

4.5 Сгорание

Сгорание – это завершение процесса сжигания. Во многом этот процесс зависит от размера частиц топлива, пропорционального отношения топлива к воздуху, температуре, времени пребывания частиц и турбулентности (смешивание топлива и воздуха) в печи. Незавершенное сгорание сопровождается выделением угарного газа, летучими органическими соединениями и твердыми частицами в отработавших топочных газах, а при механическим недожоге – зольным остатком в виде пепла и шлака. В процессе сгорания органические и неорганические вещества либо остаются неизмененными, либо преобразовываются в газообразные вещества. В зависимости от условий сгорания эти вещества либо остаются неизмененными, любо преобразовываются в нерастворимые оксиды и сульфиды или в растворимые в воде хлориды и сульфаты. Высокая эффективность сгорания топлива означает минимальное содержание в нем указанных неорганических соединений.

В системе сжигания преобладающая часть остается в виде зольного остатка (шлака, пепла). Количество органического углерода в зольном остатке низкое и пепел может использоваться для применения в строительстве. При высокой температуре и наличии кислотных компонентов улетучиваются некоторые тяжелые металлы, такие как кадмий и цинк, из зольного остатка улетучиваются пепел и фильтрованный шлак. Это дает положительный очищающий эффект шлака. Летучий пепел и фильтрованный шлак содержат высокие концентрации топливных загрязнителей и требуют дальнейшей переработки и(или) удаления.

В соответствии с экологическими требованиями установки по сжиганию упаковочных отходов должны иметь очистные сооружения для улавливания выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух.

4.6 Утилизация теплосодержания в газообразных продуктах сгорания

Теплосодержание в газообразных продуктах сгорания восстанавливается в бойлере в виде пара или горячей воды. Тепловой коэффициент полезного действия теплообмена пропорционален температурной разнице между высшей и низшей теплотой сгорания сжигаемых материалов.

Общие положения по достижению низшей теплоты сгорания следующие:

– наличие устройства, предназначенного для топлива определенного вида, качества и ассортимента. Топливо, не подходящее для действующего

оборудования, может оказать негативное влияние на процесс утилизации отходов для энергетических целей и вызвать образование осадка, ошлакование и коррозию в бойлере. В результате, частое обдувание сажи и отключение устройства для приведения в порядок и ремонтных работ будет необходимо. Всё это уменьшает возможность технического обслуживания завода;

– использование внутренней энергии обдувателей, насосов, большого газоочистительного оборудования, предназначенного для очистки от топочного газа и т. п., сокращающего суммарный коэффициент полезного действия всего устройства и коэффициент термического усиления.

Суммарный коэффициент полезного действия всего устройства и коэффициент термического усиления должны быть оптимизированы путем сведения к минимуму тепловых потерь, например, за счет:

– повсеместного охлаждения горячих топочных газов в бойлере;

– утилизации остаточного жара в топочных газах после бойлера для обезвоживания и предварительного нагревания топлива, либо для других этапов процесса.

4.7 Преобразование энергии в электрическую и(или) тепловую

Эффективность преобразования энергии в электричество и(или) тепло зависит от температуры и давления образованного пара.

Смешанное преобразование электричества и пара или горячей воды в целях нагревания дает возможность получать от утилизации более 70 % энергии. Такая комбинация предпочтительна для оптимизации возврата тепла. Конденсация водяного пара в дальнейшем может привести к увеличению потребления энергии.

5 Требования к утилизации упаковки в качестве топлива

5.1 Коэффициент термического усиления

Главное требование к упаковке, которая может быть утилизирована в качестве топлива, заключается в том, что она является топливом в обычных условиях и для оптимизации способна обеспечить необходимый коэффициент термического усиления. Это означает, что при эффективном сжигании материалов низшая теплота сгорания Q_{net} упаковки должна превышать необходимую энергию H_a для того, чтобы повысить температуру продуктов ее сгорания, в том числе шламов и избыточного воздуха до требуемой температуры. Это определяется в разделе 6 и является постоянным для всех органических веществ и большинства легких упаковок из материалов, содержащих большую часть органического вещества.

5.2 Содержание золы

Процесс утилизации отходов с целью получения энергии позволяет существенно сократить общий объем отходов, а образуемый в результате шлак может быть повторно использован. В среднем горючая упаковка содержит меньше золы, чем твердые коммунальные отходы или уголь. Требование к коэффициенту

термического усиления косвенно ограничивает общее содержание золы. Предел варьируется в соответствии с составом материала упаковки.

В таблице 1 приведены значения Q_{net}, данные о количестве тепла и имеющейся в распоряжении тепловой энергии для типичных составных частей упаковки и упаковочных материалов. Некоторые из представленных упаковочных материалов не являются распространенными, однако они были выбраны для того, чтобы показать спектр основных возможностей (см. также пример в разделе 9).

Таблица 1

Примеры сжигаемых материалов	Q_{net} МДж/кг[c)]	H_a, МДж/кг	Коэффициент термического усиления $Q_{net} - H_a$, МДж/кг	Получаемая тепловая энергия, МДж/кг[e)]
Целлюлоза	16,1	7,9	8,2	12,1
Лигнин	26,0	12,0	14,0	19,5
Крахмал	16,1	7,9	8,2	12,0
Инертные материалы (керамика, стекло и т. д.)	0,0	1,0	–1,0	–
Карбонат кальция[a)]	–2,0	1,0	–3,0	–
Вода (как жидкость)	–2,0	2,0	–4,0	–
Древесина				
Древесина сухая	20,0	9,7	10,3	15,0
Древесина, 30 % влаги	13,3	7,3	6,0	10,0
Древесина, 50 % влаги	8,8	5,7	3,1	6,6
Бумага и картон				
Картон (66 % целлюлозы, 23 % лигнина, 11 % инертных слоев) сухой	16,6	8,1	8,5	12,5
Картон (66 % целлюлозы, 23 % лигнина, 11 % инертных слоев), 7 % влаги	15,3	7,6	7,7	11,5
Картон (85 % целлюлозы, 15 % инертных наполнителей) сухой	13,7	6,8	6,9	10,3
Картон (85 % целлюлозы, 15 % инертных углеродных наполнителей, сухих), 7 % влаги	12,6	6,5	6,1	9,5
Картон (85 % целлюлозы, 15 % инертных углеродных наполнителей, сухих), 7 % влаги	12,6	6,5	6,1	9,5

Продолжение таблицы 1

Примеры сжигаемых материалов	Q_{net} МДж/кг[c)]	H_a, МДж/кг	Коэффициент термического усиления $Q_{net} - H_a$, МДж/кг	Получаемая тепловая энергия, МДж/кг[e)]
Упаковочная бумага (80 % целлюлозы, 20 % инертных наполнителей) сухая	12,9	6,5	6,4	9,7
Упаковочная бумага (80 % целлюлозы, 20 % инертных наполнителей, сухих), 3 % влаги	12,4	6,4	6,0	9,4
Упаковочная бумага (60 % целлюлозы, 40 % инертных наполнителей) сухая	9,7	5,1	4,6	7,3
Упаковочная бумага (60 % целлюлозы, 40 % инертных наполнителей, сухих), 3 % влаги	9,3	5,0	4,3	7,0
Полимеры				
Полиэтилен (ПЭ)	43,0	21,0	22,0	32,2
Полипропилен (ПП)	44,0	20,4	23,6	33,0
Полистирол (ПС)	40,0	18,2	21,8	30,0
Поливинилхлорид (ПВХ)	17,0	8,0	9,0	12,8
Полиэтилентерефталат (ПЭТ)	22,0	10,0	12,0	16,5
Поликарбонат	29,0	14,0	15,0	22,0
Алюминий (горючий)[b)]	31,0	6,4	24,6	23,3
Алюминий (инертный)[c)]	0,0	1,0	-1,0	—
Сталь (инертная)	0,0	0,4	-0,4	—
ПП с 50 %-ным углеродным фильтром	21,1	10,7	10,4	15,8
ПП с 70 %-ным углеродным фильтром	12,0	6,8	5,2	9,0
ПС с 2 % TiO_2	39,2	17,9	21,3	29,4
Ламинаты				
Картон (66 % целлюлозы, 23 % лигнина, 11 % инертных покрытий/слоев сухих), 7 % влаги, 20 % ПЭ, 2 % Al	21,6	10,2	11,4	16,2
71 % ПЭ, 12 % Al, 17 % ПЭТ	38,0	17,3	20,6	28,5
49 % ПЭ, 22 % Al, 29 % ПЭТ	34,2	14,6	19,7	25,7
23 % ПЭ, 46 % Al, 31 % ПЭТ	31,0	10,9	20,1	23,3

Продолжение таблицы 1

Примеры сжигаемых материалов	Q_{net} МДж/кг[c)]	H_a, МДж/кг	Коэффициент термического усиления $Q_{net} - H_a$, МДж/кг	Получаемая тепловая энергия, МДж/кг[e)]
ПП-пленка с 0,7 %-ным покрытием из алюминия	43,9	20,3	23,6	32,9
ПЭТ-пленка с 0,7 %-ным покрытием из SiO_x	21,9	9,9	11,9	16,4
58,1 % Al, 41,9 % ПВХ	25,0	7,0	18,0	19,0
Упаковка (тара)				
Деревянный поддон, 4 % гвоздей, 16 % влаги	15,8	8,1	7,7	11,9
Деревянный ящик, 5 % гвоздей, 16 % влаги	15,6	8,0	7,6	11,7
Банки для огурцов (81,8 % стали, 14,8 % ПП)[d)]	8,0	4,0	4,0	6,0
Аэрозольный баллон из стали (85,2 % стали, 14,8 % ПП)[d)]	6,5	3,4	3,1	4,9
Банки для сиропов/патоки (89,5 % стали, 10,5 % ПП)[d)]	4,6	2,5	2,1	3,5

Примечания

[a)] Во время процесса горения карбонат кальция эндометрически образует оксид кальция и диоксид углерода.

[b)] Тонкую алюминиевую фольгу толщиной до 50 мкм рассматривают здесь как горючую. Тонкая алюминиевая фольга (в большинстве случаев толщиной до 50 мкм) увеличивает Q_{net} упаковки и рассматривается как пригодная к переработке в качестве вторичных энергетических ресурсов.

[c)] Тонкую алюминиевую фольгу толщиной более 50 мкм рассматривают здесь как негорючую. Алюминиевую фольгу толщиной более 50 мкм не следует рассматривать как пригодную к утилизации в качестве вторичных энергетических ресурсов.

[d)] Использованная упаковка не соответствует требованиям по утилизации в качестве вторичных энергетических ресурсов, однако органические компоненты выделяют имеющуюся в распоряжении тепловую энергию. Упаковку, которая состоит из более чем 50 % (по массе) неорганических веществ, например, таких, как стекло или жесткие металлические контейнеры с пластмассовым затвором, не следует рассматривать как пригодную к утилизации в качестве вторичных энергетических ресурсов.

[e)] Для установок по утилизации упаковочных отходов с целью получения энергетических ресурсов с тепловыми потерями, равными 25 %. Имеющаяся в распоряжении тепловая энергия равна 0,75 Q_{net}.

Эффективное сжигание ограничивает содержание несгоревшего органического вещества в золе и, вследствие этого, расходуется небольшое количество энергии в зольных остатках (шлаке, пепле). Таким образом, показатель содержания золы, образующийся в результате сжигания упаковочных отходов, не является достаточно важным показателем для оптимизации или определения годности отходов для утилизации в энергетических целях.

5.3 Другие дополнительные требования

Другие дополнительные требования относятся к кислотообразующим веществам, тяжелым металлам и другим опасным веществам в упаковке, подлежащей сжиганию. Эти требования предусмотрены в ГОСТ 33753–2016, в их числе:

– содержание кислотообразующих веществ, таких как сера, азот и хлор в топливе, преобразуемом в энергию, должно ограничиваться установленными предельно допустимыми выбросами предприятия. Предприятие по сжиганию твердых коммунальных отходов должны иметь необходимое оборудование для сжигания упаковочных отходов. Максимальное удаление шламов при сжигании упаковочных отходов также является дополнительным требованием;

– массовая доля тяжелых металлов должна определяться по ГОСТ 34030.1–2016 «Упаковка. Требования к измерению и установлению четырех тяжелых металлов и других опасных субстанций в упаковке и их поступлениям в окружающую среду. Часть 1. Требования к измерению и установлению четырех тяжелых металлов в упаковке» и должна контролироваться при сжигании.

– на предприятиях по сжиганию упаковочных отходов должен проводиться производственный мониторинг с целью контроля за выбросами, сбросами и образованием отходов от сжигания упаковочных отходов.

6 Теоретическое определение коэффициента термического усиления

Согласно ГОСТ 33753 горючий материал определен, как способный к освобождению энергии в процессе сгорания. Его характеристики как генератора энергии могут вычисляться путем стандартной термодинамической процедуры. Для оптимизации коэффициента термического усиления освобожденная энергия должна быть достаточно высокой для того, чтобы обеспечить коэффициент термического усиления в процессе сгорания.

Низшая теплота сгорания Q_{net} материала является количеством освобожденной энергии, полученной во время сгорания и превращении воды в пар. Она зависит от химического состава материала. Интенсивность освобождения энергии также зависит от физических свойств материала. Для обеспечения коэффициента термического усиления материала Q_{net} должна превышать количество необходимой энергии H_a до уровня температуры адиабатического плавления веществ после сгорания (включая избыточный воздух), от температуры окружающей среды до обусловленной конечной температуры. Коэффициент термического усиления вычисляется по формуле

$$Q_{net} - H_a \geq 0 \ . \qquad (1)$$

Низшая теплота сгорания упаковки, состоящая из различных компонентов, может быть вычислена по формуле

$$Q_{net} = \sum_{i=1}^{n} f_i \cdot Q_{net,i} \ , \qquad (2)$$

где Q_{net} – низшая теплота сгорания упаковки;

f_i – доля составной части упаковки;

$Q_{net,i}$ – низшая теплота сгорания составной части *i* упаковки.

Сжигаемая упаковка может содержать негорючие материалы инертного или реактивного происхождения, которые могут произвести отрицательный эффект на коэффициент термического усиления H_a для упаковочного материала может вычисляться согласно формуле

$$H_a = \sum_{j=1}^{m} g_j \cdot C_{p,j} \cdot (T_a - T_0) \ , \qquad (3)$$

где H_a – энергия, необходимая веществам, шламам и избыточному воздуху от T_o до T_a для адиабатического сжигания материалов;

g_j – пропорции продуктов сгорания и шламов (топочных газов и золы) и избыточного воздуха;

$C_{p,j}$ – особое свойство тепла сгоревшего продукта j при постоянном давлении; T_a – конечная температура сгорания;

T_o – температура окружающей среды.

Формула (3) применяется для адиабатической ситуации. В целях обеспечения требований упаковке, предназначенной для утилизации в качестве энергетических ресурсов в соответствии с ГОСТ 33523, настоящая формула используется для оценки коэффициента термического усиления упаковки.

H_a упаковки, состоящей из различных компонентов, может вычисляться в соответствии с формулой

$$H_a = \sum_{i=1}^{n} f_i \cdot H_{a,i} \qquad (4)$$

где H_a – энергия, необходимая веществам, шламам и избыточному воздуху от T_o до T_a для адиабатического сжигания тепла;

f_i – доля составной части упаковки;

$H_{a,i,}$ – энергия, необходимая веществам, шламам и избыточному воздуху от T_o до T_a для адиабатического сжигания тепла составной части упаковки.

Примечание – Для более детального объяснения по коэффициенту термического усиления и методам расчета (см. приложение А).

7 Определение низшей теплоты сгорания

Низшая теплота сгорания $Q_{net,min}$ может быть определена как H_a по формуле

$$Q_{net,\min} = H_a \ . \qquad (5)$$

Низшая теплота сгорания зависит от особенностей сгораемых материалов и условий сжигания.

8 Теоретическое и практическое осуществление

При выполнении формулы (1) Q_{net} сгораемого материала является существенной для обеспечения коэффициента термического усиления в представленной системе сжигания, т. к устанавливает энергию, необходимую для достижения разных температур сгорания твердых коммунальных отходов различного состава. Кривая на рисунке 3 показывает типичные значения H_a при разных температурах.

Q_{net} коммунальных твердых отходов в диапазоне от 8 до 12 мДж/кг, обычно является достаточной для достижения температуры сгорания, равной 1200 °С, которая превышает минимальную температуру сгорания, равную 850 °С.

Для поддержания оптимальной работы действующих предприятий, работающих на энергии, полученной при сжигании упаковочных отходов, важно сохранять низшую теплоту сгорания при смешанной подаче материалов в установки для сжигания отходов определенного предела в мусоросжигательной установке, т. е. 8–12 мДж/кг. Это достигается путем отделения от ТКО и сжигания упаковочных отходов, обладающих высшей теплотой сгорания.

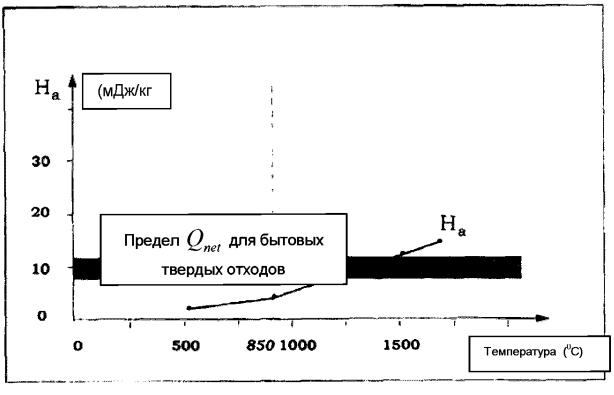


Рисунок 3 – Типичные значения H_a для твердых коммунальных отходов разного состава, сжигаемых в установке для сжигания твердых коммунальных отходов при разных температурах

На рисунке 4 сравниваются существенные значения показателей различных сгораемых материалов упаковки и топлива. Для всех приведенных материалов и топлива значения Q_{net} превышает H_a, что соответствует формуле (1). Далее H_a превышает общие потери в обычных установках для сжигания отходов. Доступный коэффициент термического усиления, полученный на практике, в действительности выше коэффициента термического усиления, рассчитанного теоретически (рисунок 5).

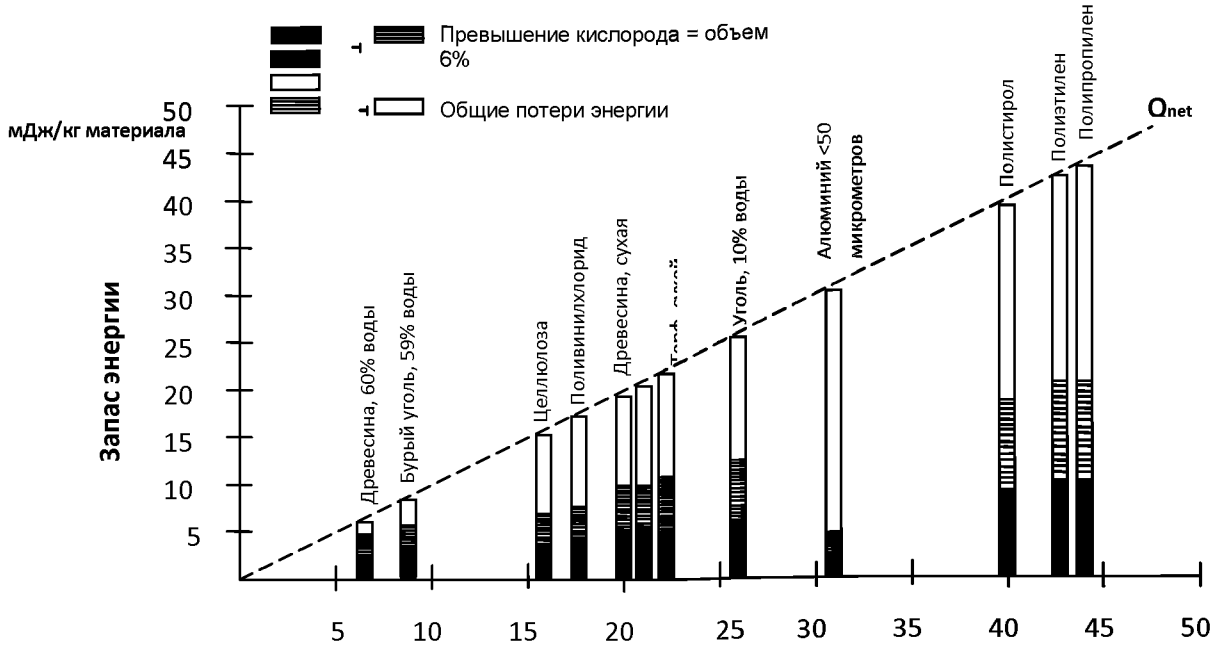


Рисунок 4 – Сравнение низших температур сгорания Q_{net} с запасом энергии H_a их топочных газов при температуре 850 °С и 6 % превышения кислорода некоторых материалов и жидкостей с тепловыми потерями

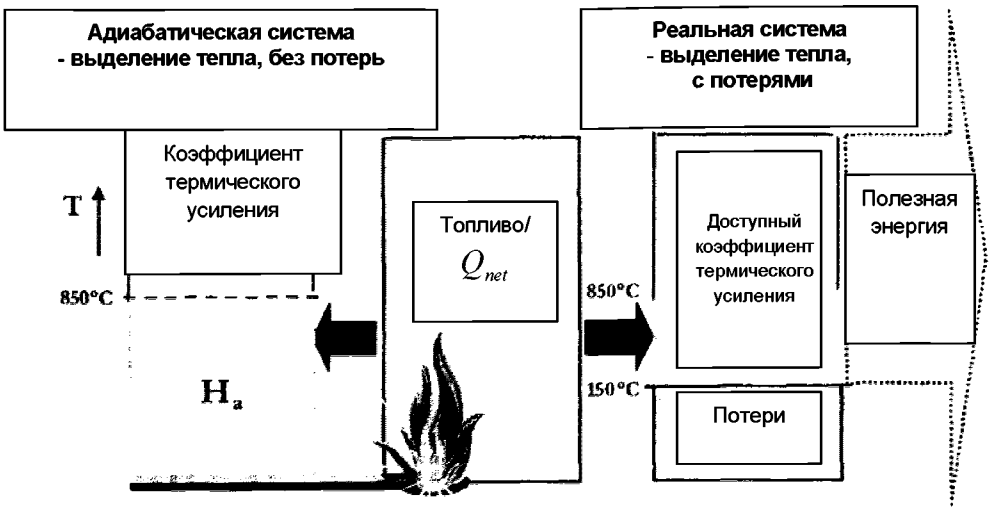


Рисунок 5 – Коэффициент термического усиления и номинальный коэффициент термического усиления при установленной температуре и содержании кислорода в топочном газе

Это показывает, что требование к упаковке, используемой в качестве топлива (см. раздел 5), обеспечивает коэффициент термического усиления, но является консервативным подходом.

9 Определение коэффициента термического усиления

Q_{net} является вычисляемым параметром и может определяться стандартными методами, например, с помощью калориметрии по ГОСТ 147.

H_a для предполагаемой конечной температуры и количества избыточного воздуха также может являться вычисляемым параметром и может быть получена с помощью формулы (3). Рекомендуемая температура сжигания должна быть равна не менее 850 °С, а избыточный кислород – выше 6 %. Настоящие минимальные условия используются для расчета коэффициента термического усиления, сжигаемых упаковочных материалов.

Таблица 1 устанавливает Q_{net}, H_a и коэффициент термического усиления, вычисленные для температуры окружающей среды 25 °С и при установленной конечной температуре 850 °С и 6 % избыточного кислорода в топочном газе некоторых упаковочных материалов и влаги.

Положительные значения коэффициента термического усиления

В случае положительной разницы появляется коэффициент термического усиления (см. таблицу 1).

Для определения обеспечивает или не обеспечивает упаковка из различных видов материалов коэффициент термического усиления могут применяться расчеты, приведенные в примерах 1–5.

Пример 1	Состав:	Картон (66 % целлюлозы, 23 % лигнина) с 11 % инертного слоя
	Коэффициент Термического усиления:	0,66·8+0,23·14+0,11·(–1)=8 МДж/кг
	Содержание золы:	11 % (инертного слоя)
Пример 2	Состав:	PP с 50 % карбонатного наполнителя
	Коэффициент термического усиления:	0,5·24+0,5·(–3)=10,5 МДж/кг
	Содержание золы:	30 % (CaO из $CaCO_3$)
Пример 3	Состав:	PS с 2 % TiO_2
	Коэффициент термического усиления:	0,98·22+0,02·(–1)=22 мДж/кг
	Содержание золы:	2 % (TiO_2)
Пример 4	Состав:	Ламинат 71 % от PE, 12 % от Al и 17 % от PET
	Коэффициент термического усиления:	0,71·22+0,12·25+0,17·12=21 МДж/кг
	Содержание золы:	23 % (Оксида алюминия)
Пример 5	Состав:	Ламинат 49 % от PE, 22 % от Al и 29 % от PET
	Коэффициент термического усиления:	0,49·22+0,22·25+0,29·12=20 МДж/кг
	Содержание золы:	41 % (Оксида алюминия)

10 Выводы

I Оптимизация возврата тепла от упаковочных отходов означает, что оборудование для процесса сжигания и управление им оптимизированы для целей использования энергии сгораемых упаковочных отходов, чтобы обеспечить низшую теплоту сгорания и нормальное функционирование системы сжигания, которая включает в себя все этапы, включая определение свойств упаковки, системы сбора, подготовки, хранения отходов и преобразования энергии в полезную энергию для требуемых нужд.

Некоторые этапы включены в общую систему сжигания, но не касаются самой упаковки, в их числе: системы накопления и подготовки, утилизации тепла и преобразования энергии в низшую теплоту сгорания, которые не оказывают влияния на требования к упаковке.

Для обеспечения эффективной деятельности предприятий, работающих на отходах, важно сохранять низшую теплоту сгорания от 8 до 12 мДж/кг при смешанной подаче материалов в установки для сжигания отходов определенного состава в мусоросжигательной установке. Это достигается путем отделения упаковочных отходов с высшей теплотой сгорания от других коммунальных твердых отходов.

II Низшая теплота сгорания упаковки определена для количества энергии H_a, как существенная для адиабатического плавления сгораемых продуктов упаковки, шлаков и избыточного воздуха в зависимости от температуры окружающей среды и установленной конечной температуры сгорания. Эта величина является особенностью материала и зависит от химического состава упаковки. Установленного значения не существует.

III Упаковка, изготовленная из органического вещества, превышающего показатель низшей теплотой сгорания Q_{net}., **может использоваться многократно в качестве топлива и подходит для оптимизации возврата тепла**. Соответствие возврату тепла упаковки, изготовленной из различных видов материалов, может подтверждаться с помощью расчета.

IV Низшая теплота сгорания упаковки может измеряться стандартными методами (ГОСТ 147 или эквивалент), либо вычисляться по формуле (2).

V Процесс возврата тепла обеспечивает существенное уменьшение объема отходов, а получаемый в результате шлак может повторно использоваться на различные промышленные нужды. Требование к коэффициенту термического усиления предусматривает ограничение пределов *содержания золы* в восстанавливаемой упаковке, используемой в качестве топлива. Этот предел изменяется в зависимости от состава упаковки. Содержание золы не является важным показателем в отличие от оптимизации или пригодности упаковки для возврата энергии. Только небольшое количество энергии преобразовывается в шлак и золу, и это принимается во внимание при расчете коэффициента термического усиления. Среднестатистическая горючая упаковка содержит золы гораздо меньше, чем твердые коммунальные отходы или уголь.

VI Содержание кислотообразующих веществ, таких как сера, азот и хлор в топливе, преобразуемом в энергию, должно ограничиваться установленными предельно допустимыми выбросами, установленными для оборудования и предприятия. Установки для сжигания твердых коммунальных отходов оборудованы для переработки среднего количества упаковочных отходов. Конечное устранение отходов из установки также подвержено регулированию.

Таким образом, дополнительное требование к кислотообразующим веществам в восстанавливаемой упаковке в качестве топлива излишне.

VII Тяжелые металлы обычно не играют главную функциональную роль в процессе сжигания упаковочных материалов.

VIII Любые **другие опасные компоненты**, которые могут быть в отходах упаковки, устраняются высокой температурой в процессе сжигания.

IX Установки по преобразованию энергии должны регулироваться для обеспечения **качества сжигания и переработки топочного газа.** Высшая теплота сгорания характеризует качество сжигания. Твердые частицы, кислотообразующие компоненты и другие загрязняющие вещества, в т. ч. тяжелые металлы, выделяемые, при сжигании топлива, должны быть тщательным образом удалены из выхлопных газов и безопасно устранены. Такая переработка требует энергии и уменьшает значение номинального коэффициента термического усиления.

Приложение А
(справочное)

Коэффициент термического усиления и методы подсчета

А.1 Краткий обзор

В данном обзоре дан подробный отчет того, как подсчитано количество тепла, далее определенное как минимально низкая теплота сгорания ($H_a = Q_{net,\min}$) необходимая для адиабатического нагревания всех продуктов сгорания упаковки (P) от температуры окружающей среды (T_0) до установленной конечной температуры (T_a).

Учитывая чистые компоненты i, включая воду и наполнители, H_a (P) дана в формуле

$$H_a(P) = \sum_{i=1}^{n} f_i H_{a,i} \quad , \qquad (A.1)$$

где f_i является пропорцией (более естественно пропорция массы w_i) «i» - образного компонента P. Таким же способом низшая температура сгорания Q_{net} составной упаковки может быть получена из формулы

$$Q_{net}(P) = \sum_{i=1}^{n} f_i Q_i \qquad (A.2)$$

где Q_i означает химическую (например, низшую тепловую реакцию $Q_{net,i}$, либо теплоту диссоциации $Q_{d,i}$), либо физическую (например, теплоту парообразования $Q_{vap,i}$) теплоту реакции, связанную с «i»-образным компонентом.

Определенным количеством предложенного критерия возврата тепла является коэффициент термического усиления ΔQ, который определен по формуле

$$\Delta Q \equiv Q_{net} - H_a(P) = \sum_{i=1}^{n} f_i \cdot (Q_i - H_{a,i}) > 0 \ . \qquad (A.3)$$

Величины Q_{net} изначально определены калориметрическим способом, величины H_a подсчитаны с помощью данных по изобарической удельной теплоемкости или молярной теплоемкости C_p для веществ, которые должны быть нагреты.

А.2 Введение

В процессе научной проработки преобразования энергии может быть рассмотрена возможность использования адиабатической температуры сгорания в качестве критерия возврата тепла для упаковки при условии, если:

$$ICV = V \cdot C \cdot t \qquad (A.4)$$

где ICV – чистая теплота сгорания или низшая теплота сгорания,
V – объем топочного газа;
C – специальная теплоемкость газа;
t – температура.

Принимая во внимание соотношение температуры окружающей среды t и конечной температуры, которая, как известно, приводит к полному сгоранию (т. е. «создает благоприятные условия для окружающей среды») и расчеты количества необходимого тепла для достижения адиабатического состояния, определенного таким образом, когда не отдается предпочтение избыточному кислороду в топочном газе, появился критерий адиабатического возврата тепла. Таким образом, метод может описываться как вычисление обратной адиабатической конечной температуры.

А.3 Упаковочный материал

Упаковка P может состоять из одного компонента K, например, из полиэтилена (PE), либо из двух и более компонентов. Рассмотрим случай с несколькими компонентами n:

$$P = \{K_1 + K_2 + ...K_n\} \quad (A.5)$$

Например, если P – картон,
Тогда K_1 = целлюлоза;
K_2 = лигнин;
K_3 = наполнительный материал;
K_4 = влага, т. е. H_2O (1).

А.4 Теплота сгорания

Если известна теплота реакции всех компонентов Q_i, тогда получают достаточно точное значение конечной теплоты сгорания P, Q_p путем сложения известных компонентов:

$$Q_p(P) = f_1 \cdot Q_1 + f_2 \cdot Q_2 + f_n \cdot Q_n \quad (A.6)$$

или

$$Q_p(P) = \sum_{i=1}^{n} f_i \cdot Q_i \quad (A.7)$$

Если теплота реакции дана как единица энергии на единицу массы, тогда f_i заменяют пропорцией массы w_i. Если используются единицы в молях, тогда f_i должна быть заменена на молярную долю x_i. Однако, впоследствии моль оказался неудобной единицей для замены составного материала, расчеты с формулой (А.7) будут произведены с учетом его особой формы[1)] (на единицу массы):

$$Q(P)/J \cdot g^{-1} = \sum_{i=1}^{n} f_i \cdot Q_i / J \cdot g^{-1} \quad (A.8)$$

[1)] Рекомендуется, чтобы теплота сгорания обозначалась как Q и указывала единицу массы (г), в то время как тепловая функция сгорания обозначалась как ΔH и указывала единицу вещества = элемент/составная часть (моль): $Q \cdot M = \Delta H$, где M обозначает молярную долю (г/моль) вещества. Здесь «тепло» и «тепловая функция» обозначены по-разному.

Молярной является формула:

$$H_a(P)/J \cdot моль^{-1} = \sum_{i=1}^{n} x_i \cdot \Delta H_i / J \cdot моль^{-1} \qquad (A.9)$$

В случае возврата тепла от упаковки Q_p и $Q_{net,i}$ являются наименьшими величинами (наименьшее чистое сгорание/низшая теплота сгорания) Q_{net}, это означает, что вода, образованная в процессе сгорания[2)], находится в газообразном состоянии H_2O (g).

А.5 Конечный этап получения топочного газа

Первоначально, используется тепло, полученное в топочной камере при сгорании *P* – также как и остаточный азот, кислород (избыточный воздух) и инертные компоненты, присутствующие в *P* – от температуры окружающей среды T_o до температуры топочного газа. Даже если температура зольного остатка (пепла, шлака) в действительности ниже, чем температура топочного газа, то все вещества после сгорания должны достигать одинаковой конечной температуры. Чем ниже Q_p, тем ниже конечная температура (которая в дальнейшем снижается за счет потери тепла).

В целях возврата тепла, необходимая температура топочного газа определяется как конечная адиабатическая температура T_a, которая вычисляется как теоретическая температура, полученная в полностью изолированной, т. е. в идеальной топочной камере (без потери тепла). Далее, T_a выбирается в качестве величины, для мусоросжигательных заводов. Текущее значение для сжигания коммунальных твердых отходов: T_a = 850 °С (1123 °К).

А.6 Коэффициент термического усиления (ΔQ)

Определенное конечное адиабатическое состояние, это количество необходимого тепла для достижения *a* T = 850 °С при 6 % кислорода, H_a (индекс *a* для адиабатического состояния; индекс далее будет пропущен) может вычисляться, обеспечивать изобарическую специфическую или молярную теплоемкость C_p (этот индекс также будет пропущен) всех веществ, подходящих под температурный интервал T_o – T_a. Даже если *C* довольно независимо от давления, будет предположено давление 1 атм=1,013 бар.

Адиабатическое количество необходимого тепла для P может быть вычислено по аналогии с формулой (А.7) по формуле

[2)] Процесс включает в себя собственно реакцию сгорания и любую другую реакцию, проистекающие одновременно, например, реакции распада. Величины Q относятся к сухому материалу, который означает, что испаренная влага не должна допускаться; она рассматривается как отдельный компонент с собственным значением Q. Необходимо добавить в этом отношении, что поскольку предусматривается предложенный критерий возврата тепла, влага в воздухе для горения не допускается, т. е. расчеты произведены в пересчете на сухой воздух.

$$H(P) = \sum_{i=1}^{n} f_i \cdot Hi \qquad (A.10)$$

либо

$$H(P)/J \cdot g^{-1} = \sum_{i=1}^{n} w_i \cdot H_i / J \cdot g^{-1} \qquad (A.11)$$

либо

$$H(P)/J \cdot моль^{-1} = \sum_{i=1}^{m} x_i \cdot H_i / J \cdot моль^{-1} \qquad (A.12)$$

Если $Q(P) > H(P)$

либо $Q(P) - H(P) > 0$

в этом случае имеется достаточное количество тепла для продолжительного сгорания, которое здесь определено как *коэффициент термического усиления* ΔQ:

$$\Delta Q = Q(P) - H(P) > 0 \qquad (A.13)$$

Включение формулы (А.1) в формулу (А.2) дает результаты:

$$\Delta Q = \sum_{i=1}^{n} f_i \cdot (Q_i - H_i) \qquad (A.14)$$

Таким образом, минимально низкая теплота сгорания может определяться как $Q_{i,\min} = H_i$ и определена путем вычисления H_i.

А.7 Вычисление H_i.

Вещества в процессе сгорания должны нагреваться от T_o до T_a [где T_o – температура окружающей среды или комнатная температура 25 °С (298 °К)] с преобразованием в продукты сгорания, другие продукты, азот, избыточных воздух и инертные продукты.

А.8 Продукты сгорания

Компонент, который горит в воздухе, приводит к образованию продуктов от «*r*» до «R_j», включая кислород (если λ >1) и азот

$$K \rightarrow R_2, ...R_j, ...R_r$$

В процессе последующей переработки индекс *1* будет использоваться для *K*, *2* – для кислорода, *3* – для воды, *4* – для диоксида углерода и *5* – для азота.

Необходимое количество адиабатического тепла для *K* на единицу вещества (n_1=1 моль) или единицу массы (m_1=1 г):

$$H_k = \sum_{j=2}^{r} g_j \cdot C_j \cdot \Delta T \qquad (A.15)$$

Фактор g_j определяет пропорцию количества R_j к количеству сгораемого *K*.

Теплоемкость (специфическая или молярная) *C* является средним значением между T_o и T_a, а также $\Delta T = T_a - T_o = 825$ *K*. Среднее значение специфической или молярной теплоемкости определено:

$$\int_{T_0}^{T_a} C_j \cdot dT = C_j \cdot \Delta T \qquad (A.16)$$

Определив температуру начального и конечного состояния, соответствующие интегралы становятся постоянными, поскольку предусматривается критерий возврата адиабатического тепла.

Следующие значения получают с помощью формулы Симпсона для опубликованных данных по $C_i(T)$ - без учета *CaO*(s) – в ГОСТ 147:

$$\int_{298}^{1123} C_{O_2} \cdot dT = 27{,}0 кДж \cdot моль^{-1} = 0{,}845 кДж \cdot г^{-1},$$

$$\int_{298}^{1123} C_{N_2} \cdot dT = 26{,}1 кДж \cdot моль^{-1} = 0{,}931 кДж \cdot г^{-1},$$

$$\int_{298}^{1123} C_{CO_2} \cdot dT = 37{,}8 кДж \cdot моль^{-1} = 0{,}858 кДж \cdot г^{-1},$$

$$\int_{298}^{1123} C_{H_2O} \cdot dT = 31{,}2 кДж \cdot моль^{-1} = 1{,}73 кДж \cdot г^{-1},$$

$$\int_{298}^{1123} C_{CaO} \cdot dT = 40{,}7 кДж \cdot моль^{-1} = 0{,}727 кДж \cdot г^{-1},$$

$$\int_{298}^{1123} C_{HCL} \cdot dT = 25{,}0 кДж \cdot моль^{-1} = 0{,}686 кДж \cdot г^{-1},$$

$$\int_{298}^{1123} C_{Al_2O_3} \cdot dT = 93{,}4 кДж \cdot моль^{-1} = 0{,}916 кДж \cdot г^{-1},$$

$$\int_{298}^{1123} C_{Fe_2O_3} \cdot dT = 115{,}6 кДж \cdot моль^{-1} = 0{,}724 кДж \cdot г^{-1}.$$

Характеристики *CaO* взяты из ГОСТ 147. Для инертных наполнителей, таких как тальк, муллит и т. д., величина интеграла равна, как правило, 0,8 МДж/кг.

Пример 1К. Полиэтиленовая фольга

Чистый полиэтилен, PE, (и полипропилен, PP) сгорают следующим образом:

$$CH_2(s) + 1{,}5O_2(g) \rightarrow H_2O(g) + CO_2(g)$$

Указанные ниже формулы для количества вещества, н/моль, могут вычисляться (для указанной ниже формулы в математической химии, см. ГОСТ 33753):

$$no_2 \equiv n_2 = 1{,}5n_1 \cdot (\lambda - 1) = g_2 \cdot n_1, \quad \text{(A.17)}$$

$$nH_2O \equiv n_3 = n_1 = g_3 \cdot n_1, \quad \text{(A.18)}$$

$$nCO_2 \equiv n_4 = n_1 = g_4 \cdot n_1, \quad \text{(A.19)}$$

$$nN_2 \equiv n_5 = 5{,}66n_1\lambda. \quad \text{(A.20)}$$

Дополнение уравнений с A.17 по A.20 дает результат:

$$n_{tot} = n_1(7{,}16\lambda + 0{,}5) \quad \text{(A.21)}$$

Деление формулы (A.17) до формулы (A.21) получает молярную долю кислорода во влажном топочном газе:

$$x_2 = 1{,}5 \cdot (\lambda - 1)/(7{,}16 \cdot \lambda + 0{,}5) \quad \text{(A.22)}$$

Вставив x_2=0,06 в формулу (A.22), получают λ=1,43. Теперь g-факторы в формулах с (A.17) по (A.20) могут быть вычислены: g_2=0,644, g_3=g_4=1, g_5=8,09. Вставив в формулу (A.15), получают:

$$H_{PE} = 0{,}644C_2 \cdot \Delta T + C_3 \cdot \Delta T + C_4 \cdot \Delta T + 8{,}09C_5 \cdot \Delta T \quad \text{(A.23)}$$

С молярными единицами получают:

$$H_{PE} / кДж \cdot моль^{-1} = 0{,}644 \cdot 27{,}0 + 1 \cdot 31{,}2 + 1 \cdot 37{,}8 + 8{,}09 \cdot 26{,}1 = 298 \quad \text{(A.24)}$$

Поделив данную величину на молярную массу *PE*, 14,03 г/моль, получают:

$$H_{PE} / кДж \cdot моль^{-1} = 21{,}2 \quad \text{(A.25)}$$

А.9 Продукты распада

Распад – это тип реакции, при которой (эндотермическая) длительность теплоты реакции Q_d, должна добавляться в формулу (А.7)[3)].

Пример 2 *К.* Карбонат кальция

Распад карбоната кальция, $CaCO_3$:

$$CaCO_3(s) \rightarrow CaO(s) + CO_2(g)$$

Распад наступает при высокой температуре. Используя закон Гесса, H_{CaCO_3} может рассчитываться следующим образом:

$$CaCO_3(s,25^\circ C) \rightarrow CaO(s,25^\circ C) + CO_2(g,25^\circ C); Q_{diss,298} = -1{,}74 кДж/г$$

$$CaCO_3(s,25^\circ C) \rightarrow CaO(s,850^\circ C) \cdot H_{CaO}$$

$$CO_2(s,25^\circ C) \rightarrow CO_2(s,850^\circ C) \cdot H_{CO_2}$$

Стехиометрия определяет, что 1 г $CaCO_3$ обеспечивает 0,56 г CaO и 0,44 г CO_2. Учитывая средние удельные теплоемкости для CaO и CO_2 в интервале 25 – 850 °С, вычисленном по ГОСТ 147, получают:

$$Q_{diss}, CaCO_3 / мДж \cdot кг^{-1} = -1{,}74,$$

$$H_{CaCO_3} / МДж \cdot кг^{-1} = 0{,}56 \cdot 0{,}855 + 0{,}44 \cdot 1{,}009 = 0{,}92$$

и

$$\Delta Q = -1{,}74 - 0{,}92 = -2{,}7 мДж \cdot кг^{-1}$$

В молярных единицах: $\Delta H_{diss} = -Q_{diss} \cdot M_{CaCO_3} = +1{,}74 \cdot 100{,}1 = 174 кДж/ммоль$

А.10 Продукты испарения

В данном случае химической реакции не происходит, происходит только смена фазы.

Пример 3*К. Вода*

Коэффициент термического усиления влаги или воды H_2O (*l*), может вычисляться из данных тепла испарения и отдельных данных теплоемкости H_2O (*l*) и H_2O (g):

[3] Теплота реакции в отличие от теплоты сгорания – как например, Q_d и Q_{vap} – должна включаться в длительность Q(P) для сопоставления соответствующей экспериментальной величины.

$$H_2O(1,25^\circ C) \rightarrow H_2O(g,25^\circ C),$$

$$Q_{vap}\,298 = -2,442 кДж \cdot г^{-1},$$

$$H_2O(g,25^\circ C) \rightarrow H_2O(g,850^\circ C);$$
$$C = 2,034\,Дж^{-1} \cdot K^{-1},$$

$$H_{H_2O} = 2,034 \cdot 10^{-3} \cdot 825 = 1,68,$$

$$\Delta Q = -2,44 - 1,68 = -4,12 кДж \cdot г^{-1}.$$

А.11 Инертные вещества

Инертное вещество, обычно наполнитель, нагрет непосредственно от T_0 до T_a:

$$H_K / мДж \cdot кг^{-1} = (C_K / Дж \cdot г^{-1} \cdot K^{-1}) \cdot (\Delta T / K) \cdot 10^{-3} \qquad (А.26)$$

Пример 4*К. М*уллит

Для муллита или алюмосиликата $Al_2O_3SiO_2$, а также для многих других наполнителей

$$C = 1 ДжК / г.$$

Таким образом: $Hмуллит / ммДжк^{-1} = 1 \cdot 0,825 = 0,8$.

А.12 Влажность воздуха

Хотя выбирают температуру сухого воздуха при предполагаемом возгорании Р в предполагаемой адиабатической печи, анализ его фактического влияния на Н(Р) дает результат. Процедура вычисления будет идентичной, что и процедура вычисления инертных веществ (формула А.26) и будет основываться на процессе:

$$H_2O(g,25^\circ C) \rightarrow H_2O(g,850^\circ C)$$

Разница заключается в том, что влага, содержащаяся в воздухе для горения, не является компонентом (*К*) Р, а также что *Н* - величина становится функцией λ, которая, в свою очередь, зависит от химического состава воспламеняющихся компонентов. Для топлива, содержащего углерод *С*, водород *Н* и кислород *О*, получают:

$$C_aH_bO_c + fO_2 \rightarrow 0,5bH_2O(g) + aCO_2(g)$$

Начальное состояние, S_0: n_1 n_{20} n_{30} 0 моль.
Конечное состояние, S_0 : n_1 n_2 n_3 n_4 моль.

Таким образом, должен вводиться термин, представляющий количество влаги, попадающей в печь с воздухом, n_{30}. Из соотношения:

$$n_{20} = f\lambda \cdot n_{10} \quad \text{и} \quad n_{air} = 4,773 \cdot n_{20} = f\lambda \cdot n_{20}$$

где $n_{воздуха}$ является молярным количеством сухого воздуха, можно вывести формулу:

$$n_{30} = 4{,}773 \cdot [x_{30}/(1 - x_{30})] \cdot f\lambda \cdot n_{10} \qquad (A.27)$$

где x_{30} – молярная пропорция водяного пара (влажности) в воздухе.

В диаграмме Моллье можно прочитать, что воздух, содержащий 50 % от относительной влажности, содержит 0,016 г пара на 1 г сухого воздуха, который преобразовывается в x_{30} = 0,026 (т. е. 2,6 % по объему). Применение формулы (А.27) к процессу сгорания *PE* (см. пример 1) в воздухе, составляющем 50 % от относительной влажности, дает:

$$n_{30} = 4{,}773 \cdot [0{,}026/(1 - 0{,}026)] \cdot 1{,}5 \cdot 1{,}43 \cdot 1 = 0{,}27 \textit{молей / мольPE}$$

Наконец, формула А.26 показывает, что значение 0,58 30 *H* = МДж/кг, которое составляет только 0,2 % от *HPE*, где *PE* – полиэтилен, сгораемый в сухом воздухе. Таким образом, разница между предполагаемым, т. е. стандартным *H* и фактическим значением, относящимся к сгораемому материалу во влажном воздухе, незначительна и лежит за пределами неопределенности.

А.13 Выводы

Атмосферный азот в большей степени способствует повышению значения H_i сгораемых компонентов.

Данные по стандартным упаковочным материалам приведены в таблице А.1.

Таблица А.1 – Данные по некоторым компонентам упаковочных материалов для определения критерия возврата адиабатического тепла, действительного для влажного топочного газа (см. ГОСТ 33521)

Компонент «*i*»	Мономер/ реакция	Q_i, МДж/кг	$H_{a,i}$, МДж/кг	$Q_{net,i} - H_{a,i}$ МДж/кг
Целлюлоза	$C_6H_{10}O_5$	16,1	7,9	8,2
Лигнин	$C_{10}H_{12}O_{3.3}$	26 (мягкая древесина)	12	14
Крахмал	$C_6H_{10}O_5$	16,1	7,9	8,2
PE, полиэтилен	CH_2	43	21	22
PP, полипропилен	CH_2	44,0	20,4	23,6
PS, полистирол	C_8H_8	40,0	18,2	21,8
PET, полиэтилен-терефталат	$C_{10}H_8O_4$	22	–	12
PLA, полилактид	$C_2H_2O_2$	11	6	5
PVC, поливинил-хлорид	C_2H_3Cl	17	8	9
Алюминий	$Al \rightarrow \alpha\ Al_2O_3$	31,0	6,4	24,6
Сталь	$Fel \rightarrow Fe_2O_3$	0	0,4	–0,4
Вода, влага	H_2O	–2,44	1,68	–4,1
Неустойчивый наполнитель	$CaCO_3 \rightarrow CaO$	–1,74	1	–3

Из обычного состава комбинированного упаковочного материала, предназначенного для напитков (60 % целлюлозы, 7 % лигнина, 6 % влаги, 8 % инертного наполнителя и 19 % полиэтилена), процессу сгорания подвержены указанные компоненты в следующем количестве: целлюлоза 50 %, лигнин 9 %, влага 1 %, инертный наполнитель 0,7 % и полиэтилен 40 %. Таким образом, сгораемых материалов в комбинированном упаковочном материале насчитывается 98 %, оставшиеся компоненты (влага и инертные наполнители) относятся к несгораемым, на долю каждого из которых приходится по 1 % состава упаковки.

УДК 621.798.01:006.354 МКС 13.030.10
13.030.99

Ключевые слова: упаковка, топливо, упаковочные материалы, качество упаковки, отходы упаковки, утилизация отходов, оптимизация возврата тепла, твердые коммунальные отходы, сжигание, преобразование тепловой энергии, горючий материал

gost.e-ecolog.ru