

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-10-85-92

*Коновалов В.М., Гостев Н.С., Федоров А.С.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

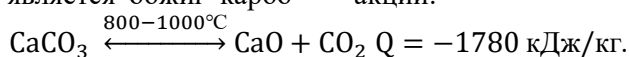
*E-mail: konovalov52@mail.ru

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОМАССОБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В ТЕХНОЛОГИИ ВЯЖУЩИХ МАТЕРИАЛОВ

Аннотация. Приводятся результаты анализа энергоэффективной технологии на примере получения строительной извести на модели шахтной печи. Представлен расчёт материального и теплового баланса шахтной печи для получения извести с использованием синтетического топлива, получаемого в процессе химической регенерации тепла вторичных энергетических ресурсов (ВТЭР). Экономия энергетических ресурсов и снижение технологических выбросов с меньшей концентрацией парниковых газов, является актуальной задачей, и предполагает развитие новых подходов к совершенствованию теплообменных процессов и повышения их энергетических возможностей. Вовлечение вторичных энергоресурсов (тепла охлаждаемой извести) в получении синтетического топлива – синтез-газа методом пароводяной и углекислотной конверсии натурального топлива, позволяет с одной стороны повысить интенсивность охлаждения продуктов обжига за счет высокого эндотермического эффекта реакции конверсии метана, а с другой стороны повысить жаропроизводительность получаемой смеси водорода и оксида углерода. Использование данной технологии позволяет снизить расход натурального топлива за счет вовлечения в процесс горения более 45 % воды в составе синтетического топлива, повысить коэффициент полезного действия установки и снизить на 19 % количество отходящих газов.

Ключевые слова: производство строительных материалов, технология химической регенерации тепла, обжиг извести, вяжущие вещества, экономия энергии.

Введение. Производство строительных материалов связано с большими энергетическими расходами. В производстве извести наиболее энергоёмким процессом является обжиг карбо-



Для разложения 1 кг карбоната кальция необходимо 1780 кДж или 0,5 мВтч/т [1], снизить энергозатраты можно при оптимизации и интенсификации технологических процессов [2].

К таким процессам можно отнести:

- повышение реакционной способности реагентов путем увеличения химической поверхности их взаимодействия и использование катализаторов, снижающих энергию активации процесса;
- аппаратное оформление схем технологических процессов;
- повышение эффективности теплообменных процессов за счет изменения температурного фактора и повышения работоспособности теплоты вторичных ресурсов.

Рассматривая третью группу процессов, следует особое внимание уделить процессам регенеративного теплообмена, позволяющим получить значительную экономию натурального топлива.

В себестоимости производства извести топливо занимает более 50 % и в массовом выражении составляет в России на текущий период около 0,8 млн. т условного топлива в год. Использование конвертированного топлива будет

натной породы. Термическое разложение основного минерала сырья для получения извести – кальцита – протекает по стехиометрической реакции:

способствовать не только снижению расходов натурального топлива, но и расширит технологические возможности тепловых агрегатов, поскольку совмещает процессы регенерации тепла в холодильниках и процессах горения искусственного топлива в печи в зоне обжига [3, 4].

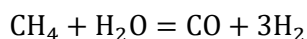
Под искусственным топливом подразумевается синтез-газ, состоящий преимущественно из диоксида углерода и водорода, получаемый в результате химической конверсии различных углеводородов и, помимо синтетического топлива, являющегося ценным сырьем химической промышленности для получения различного вида, моторных масел, топлив, пластмасс и аммиака.

Суть химической регенерации теплоты вторичных энергоресурсов заключается в использовании их теплосодержания для предварительной эндотермической переработки исходного топлива, которое при этом получает повышенное количество химически аккумулированной теплоты, а также подогревается.

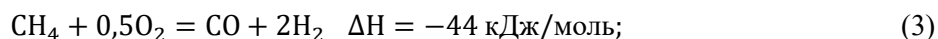
Существует принципиальная возможность конверсии любого вида органического топлива путем его разложения на водород и угарный газ – СО. Для протекания такой реакции, идущей со

значительным поглощением тепла, необходимо в реактор подать необходимое количество теплоты из рекуперативной зоны холодильника. В обычных холодильниках часть этой теплоты используется для подогрева вторичного воздуха. В данном устройстве часть ее аккумулируется в процессе эндотермического получения синтез газа. Исходное топливо нагревается до 700–800 °С и взаимодействует с водяным паром, который подается в реакционную зону. В этом случае в охладителе используется не только принцип конвективного охлаждения готового продукта – извести, но и принцип регенерации тепла в процессе физического испарения воды и протекания химической реакции разложения углеводородов при получении искусственного топлива.

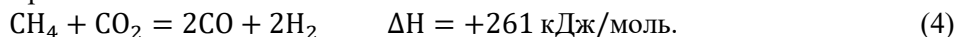
Учитывая специфические условия производства извести, наиболее подходящим топливом для ХРТ процесса следует рассматривать природный газ, состоящий преимущественно из метана с примесью более тяжелых углеводородов. Наиболее целесообразна в этом случае ХРТ методом пароводяной или углекислотной конверсии [5, 6]. В последнем случае предполагается использование в реакторе тепла и CO₂ отходящих из печи газов, что потребует более высокой температуры в реакторе для протекания процесса.



- парциальным окислением метана кислородом:



- углекислотной конверсией метана:



Комбинированием этих способов конверсии возможно получение различных по составу смесей угарного газа и водорода. Использование углекислотной конверсии представляется перспективным, поскольку позволяет использовать углекислый газ из отходящих газов, снижая его выброс в атмосферу [14].

Важным фактором энергоэффективности процессов термической обработки сырья в технологии строительных материалов особое внимание уделяется процессам рекуперации тепла в зоне охлаждения готового продукта. Холодильники различных конструкций выполняют двойственную функцию – быстрое охлаждение продуктов обжига, что препятствует процессам кристаллизации и фазовым переходам, ухудшающим качество продуктов и рекуперация тепла из зоны охлаждения в зону горения топлива, что повышает его эксергетические возможности.

Для шахтных газовых печей с удельным расходом тепла 4100–5900 кДж/кг извести, требуется воздуха на горение топлива 1,55–2,24 м³/кг извести соответственно. Таким количеством воз-

Метод ХРТ позволяет отвести от охлаждаемого объекта значительное количество теплоты, которая аккумулируется в результате протекания химической реакции разложения метана и образуется смесь угарного газа и водорода – синтез газ [7–9].

В результате паровой конверсии метана рекуперативная зона известковой печи предполагает охлаждение извести в слое от 1000–1200 °С воздухом, идущим далее на горение топлива. Как показали проведенные ранее исследования [3, 10, 11], реакция конверсии метана без катализатора достаточно полно протекает при обычном давлении в температурном интервале 800–1200 °С.

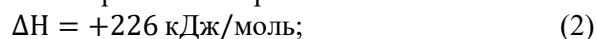
Применение технологии ХРТ в обжиге извести даёт возможность:

- получения больших объемов синтез-газа (смеси CO и H₂);
- увеличения жаропроизводительности топлива;
- резкого охлаждения извести.

Прием ХРТ пока не нашел применения в промышленности строительных материалов, но имеет большие перспективы [12, 13].

Получение синтез газа может реализовываться несколькими способами:

- паровой конверсией:



духа невозможно охладить известь до температуры ниже 100 °С. Именно этот фактор ограничивает тепловой к.п.д. шахтных и барабанных холодильников. Для охлаждения извести до 100 °С, следует подать в холодильник до 3,5 м³/кг извести. Но увеличение подачи воздуха в печь снижает температуру горения топлива и эффективность теплообмена в зоне обжига извести в том числе и за счет снижения температуры вторичного воздуха. Снижение теплового к.п.д. охладителя на 1 % ведет к увеличению расхода топлива на 0,5–0,7 кг условного топлива на тонну продукции. Указанные соотношения ограничивают эффективность конвективного теплообмена в существующих холодильниках и вынуждают искать более интенсивные способы охлаждения продуктов обжига.

Способ химической рекуперации тепла представляется наиболее рациональным решением. Изменение энтальпии исходных компонентов реакции (2) в процессе их подготовки – нагрева, испарения воды и дальнейший нагрев смеси водяных паров и метана в интервале температур 0 – 700 °С составит ΔH_{физ.} = 3,2 МДж/кг

смеси. Энтальпия химической реакции конверсии метана составляет $\Delta H_{\text{хим.}} = 6,6$ МДж/кг смеси. Полное потребление тепла в регенеративном процессе получения синтетического топлива составит 9,8 МДж/кг смеси. Столь высокое потребление энергии в результате конверсии природного топлива способствует эффективному охлаждению извести, сопоставимому к варианту охлаждения жидким водородом, что должно препятствовать рекристаллизационным процессам извести и получения быстро гасящегося продукта.

Возврат тепла в печь происходит за счет физического процесса нагревания вторичного воздуха и за счет ХРТ. При этом тепло, затраченное на протекание реакций конверсии, компенсируется повышением работоспособности нового синтетического топлива, за счет повышения на 200-300 °С его жаропродуктивности.

Выход синтез-газа и тепловой к.п.д. холодильника будет определяться особенностями конструкции реакционной камеры охладителя и выбранной схемы конверсии природного газа.

Материалы и методы. В расчетах использовался пример охлаждения клинкера методом ХРТ [3].

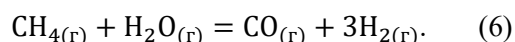
Расчёт проводился при:

- получении 1 кг извести активностью 100 %;
- обжигу подвергался 100 % карбонат кальция;
- в качестве топлива используется метан, теплота сгорания которого 35820 кДж/м³.

Для теоретического расчёта была смоделирована установка, позволяющая получить синтез-газ и использовать его в качестве топлива для обжига карбоната кальция. Гипотетическая установка представляет собой шахтную печь из кварцевой трубки-реактора, установленной в вертикальную печь, предназначенную для запуска реактора ХРТ на начальном этапе розжига. Внутри трубки находится карбонат кальция. К нижней части трубки подведены шланги, по которым подаются водяной пар и метан. Реактор условно разделен на три зоны: зона охлаждения, в которой происходит охлаждение извести и конверсия топлива; зона обжига извести, куда дополнительно подается воздух на горение синтез-газа, и зона подогрева известняка, поступающего в реакционную зону [15].

Получение синтез-газа осуществляется за счёт продувки метана и воды через слой извести, нагретого до 900-1100 °С. Количество реагентов и продуктов конверсии определяется из потребного расхода тепла на проведение реакции и исходного тепла извести из реакционной зоны печи. Степень превращения метана в синтез-газ составляет 81 %.

Основная часть. Получение синтез-газа осуществлялось по реакции паровой конверсии метана:



Состав и характеристики Синтетического топлива приведены в таблице 1.

Таблица 1

Состав получаемого синтез-газа

Показатели		CO	3H ₂	CH ₄
Плотность	m _r , кг/м ³	1,014	0,218	0,134
Удельный объем	V _r , м ³ /м ³	0,812	2,436	0,188
Содержание компонентов	φ, %об	74,23	15,96	9,81
	ω, %масс	23,63	70,90	5,47

Так, при взаимодействии 1 м³ метана и 0,652 кг водяного пара при температуре 1200 - 800 °С в реакцию конверсии вступает 81,21 % исходного метана, образуется 0,812 м³ угарного газа, 2,436 м³ водорода и остаётся 0,188 м³ метана [3]. Объём продуктов сгорания: 3,436 м³. Материальный баланс горения метана и синтез-газа, полученного из 1 м³ метана, приведен в таблице 2.

$$Q_{\text{H}}^{\text{p}} = (126,3 * \text{CO} + 107,9 * \text{H}_2 + 358,2 * \text{CH}_4) * 3,436 = (126,3 * 23,63 + 107,9 * 70,90 + 358,2 * 5,47) * 3,436 = 43273 \text{ кДж/м}^3. \quad (9)$$

Жаропродуктивность синтеза газа:

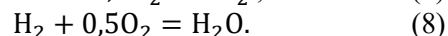
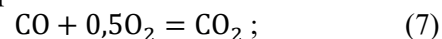
$$t_{\text{ж}} = 2196^{\circ}\text{C}, \quad (10)$$

$$Q_{\text{H}}^{\text{p}} = 358,2 * \text{CH}_4 = 358,2 * 100 = 35820 \text{ кДж/м}^3. \quad (12)$$

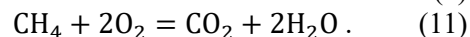
Жаропродуктивность метана:

$$t_{\text{ж}} = 2042^{\circ}\text{C}. \quad (13)$$

Расчёт горения синтез-газа и метана.



Низшая теплота сгорания 3,436 м³ синтез-газа:



Низшая теплота сгорания 1 м³ метана:

Таблица 2

Материальный баланс горения 3,436 м³ синтез-газа и 1 м³ метана

Приходные статьи	Вид				Расходные статьи	Вид			
	На метане кг/м ³ ,	%	ХРТ, кг/м ³	%		На метане кг/м ³	%	ХРТ, кг/м ³	%
Топливо	0,714	5	0,714	4,8	СО ₂	1,977	14	1,977	13,3
Воздух	13,54	95	13,54	90,8	Н ₂ О	1,61	11	2,264	15,2
Н ₂ О _ж	0	0	0,65	4,4	Н ₂	10,349	73	10,348	69,6
					О ₂	0,286	2	0,286	1,9
Итого	14,254	100	14,904	100	Итого	14,222	100	14,875	100

Скорость реакции разложения карбонатов и зависимость константы реакции от температуры выражается экспоненциальной зависимостью (уравнение Аррениуса), и даже незначительное увеличение температуры (на 20-30 °С), увеличивает скорость реакции в разы [16]. При оптимальном соотношении температуры в зоне декарбонизации и продолжительности пребывания в ней материала можно рассчитывать на увеличение производительности печи.

Из материального баланса горения топлива следует, что использование технологии ХРТ увеличивает количество продуктов сгорания на 0,65 кг/м³. Сравнительные материальный и тепловой балансы печи для обжига извести на природном газе и синтетическом топливе приведены в таблицах 3 и 4.

Из уравнений теплового баланса печи с использованием метана удельный расход топлива составляет $X_T = 0,121 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$, для печи с использованием технологии ХРТ удельный расход топлива составляет $X_T = 0,098 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$.

Из материального баланса следует, что использование технологии ХРТ позволяет снизить расход топлива при получении извести на 0,016 $\frac{\text{кг}}{\text{кг}}$, снизить количество воздуха для сжигания топлива на 0,311 $\frac{\text{кг}}{\text{кг}}$, снизить количество отходящих газов на 19 % (углекислого на 0,045 $\frac{\text{кг}}{\text{кг}}$, азота на 0,238 $\frac{\text{кг}}{\text{кг}}$, кислорода на 0,007 $\frac{\text{кг}}{\text{кг}}$).

Таблица 3

Материальный баланс печи на синтез-газе и метане

Приходные статьи	Вид				Расходные статьи	Вид			
	Метан, $\frac{\text{кг}}{\text{кг}}$ изв.	%	ХРТ, $\frac{\text{кг}}{\text{кг}}$ изв.	%		Метан, $\frac{\text{кг}}{\text{кг}}$ изв.	%	ХРТ, $\frac{\text{кг}}{\text{кг}}$ изв.	%
Топливо	0,086	2,45	0,070	2,16	Известь	1	19	1	30,83
СаСО ₃	1,786	50,88	1,786	55	СО ₂ ^T	0,239	9	0,194	5,98
Воздух	1,638	46,67	1,327	40,87	Н ₂ О ^T	0,195	7	0,222	6,84
Н ₂ О _ж	0	0	0,064	1,97	Н ₂ ^T	1,252	49	1,014	31,26
					О ₂ ^T	0,035	1	0,028	0,86
					СО ₂ ^с	0,786	15	0,786	24,23
Итого	3,510	100	3,247	100	Итого	3,507	100	3,244	100

Таблица 4

Тепловой баланс печи с использованием технологии ХРТ и на метане

Приходные статьи теплоты	Вид				Расходные статьи теплоты	Вид			
	Метан, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ изв.	%	Синтез-газ, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ изв.	%		Метан, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ изв.	%	Синтез-газ, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ изв.	%
Топливо, теплота горения	4334	84,2	4241	85,3	Теплота на декарбонизацию	3179	61,7	3179	64,0
Топливо, физ. тепло	5	0,1	425	8,6	Теплота с отходящими газами	658	12,8	484	9,7
Известняк, физ. тепло	37	0,7	37	0,7	Потери на выходе из печи	803	15,6	803	16,2
Вторичный воздух	774	15	267	5,4	Потери через корпус печи	510	9,9	504	10,1
Итого	5150	100	4970	100	Итого	5150	100	4970	100

Из теплового баланса печи следует, что использование системы ХРТ позволяет снизить на 174 кДж/кг извести энергию потерь с отходя-

щими газами за счёт снижения количества отходящих газов и это без увеличения производительности печи и незначительно снизить потери через корпус на 6 кДж/кг.

Таблица 5

Тепловой баланс зоны охлаждения печи на метане и с использованием технологии ХРТ

Приходные статьи	Вид				Расходные статьи	Вид			
	Метан, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ изв.	%	Синтез-газ, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ изв.	%		Метан, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ изв.	%	Синтез-газ, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$ изв.	%
Известь после печи	803	95	803	94,8	Известь после холодильника	71	8,4	71	8,4
Воздух	41	5	33	3,9	Втор. воздух	689	81,6	93	11
Метан	0	0	4	0,5	Синтез-газ	0	0	423	50
$H_2O_{ж}$	0	0	7	0,8	Потери через корпус хол-ка.	84	10	85	10
					Испарение воды	0	0	174	20,6
Итого	844	100	847	100	Итого	844	100	846	100

Тепловой баланса зоны охлаждения показывает, что использование технологии ХРТ снижает на 596 кДж/кг извести энергию вторичного воздуха, которая аккумулируется в получении синтез-газа и испарение воды. Тепловой баланс

$$\Delta Q_{х.г.} = Q_{н}^p(\text{с.г.}) - Q_{н}^p(\text{CH}_4) = 43273 - 35820 = 7453 \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3}. \quad (14)$$

Термодинамический анализ показывает, что:

- Жаропроизводительность конвертированного топлива выше на 154 °С, чем жаропроизводительность метана, что повышает его эксергию.

- При конвертировании топлива возврат в печной агрегат химически аккумулированной теплоты составит - $\Delta Q_{х.г.} = 7453 \text{ кДж/м}^3$ метана.

- Уменьшаются величина необратимых потерь тепла через корпус, потерь с отходящими газами из печи.

Выводы. При конвертации исходного газового топлива в синтетический газ можно добиться снижения тепловых потерь с отходящими газами (174 кДж/кг), через корпус печи (6 кДж/кг). Химическая регенерация тепла и сжигание конвертированного топлива приводят к повышению производительности печи и экономии топлива (до 20 кг усл.топ./т извести). Более того, при сжигании конвертированного газа уменьшается на 19 % количество углекислого газа и азота в отходящих газах, снижается на 19 % расход воздуха на горение.

Высокое потребление энергии в процессе конверсии природного топлива способствует эффективному охлаждению извести, а высокий эксергетический потенциал синтетического топлива предполагает повышение производительности теплового агрегата. Рассматриваемый подход

зоны охлаждения печи, работающей на натуральном топливе и синтез-газе приведен в таблице 5.

Прирост химически аккумулированной теплоты конвертированного газа при конверсии 81,21 % 1 м³ метана составляет:

к повышению энергоэффективности теплообменных процессов в тепловых агрегатах с использованием вторичных энергоресурсов в процессах регенеративного теплообмена и вовлечением в состав конверсионного топлива воды можно рассматривать как пример энергосберегающей технологии, снижающей нагрузку на окружающую среду.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

4. Бутт Ю.М., Сычев М.М., Тимашев В.В. Химическая технология вяжущих материалов. М.: Высш. школа, 1980. 472 с.
5. Классен В.К., Шубин В.И. Энерго-ресурсосбережение при производстве цемента // Доклады II Междунар. совещ. по химии и технологии цемента. 2000. Т. 1. С. 30–34.
6. Коновалов В.М., Ткачев В.В., Черкасов А.В. Энергоэффективная технология производства портландцементного клинкера. Белгород: Изд-во БГТУ, 2016. 99 с.
7. Спирин Ю.Л. Экономико-организационные и технические факторы снижения топливостроительных материалов. М.: ВНИИ-ЭСМ, 1984. 165 с.
8. Пат. №2497766 Российская Федерация, МПК С04В 7/44 Способ получения цементного клинкера; заявл. 5.10.2012; опубл. 10.11.13г., бюл. №31. / Коновалов В.М., Ткачев В.В., Литовченко А.В., Гончаров А.А., Бандурин, А.А. (Россия); заявитель БГТУ им. В.Г. Шухова. 3с.

9. Коновалов В.М., Перескок С.А., Петрова М.А., Образумов А.Н. Повышение эффективности тепломассообменных процессов в производстве цемента // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2016. №4. С. 176–181

10. Арутюнов В.С., Крылов О.В. Окислительные превращения метана. М.: Наука, 1998. 361 с.

11. Матковский П.Е., Седов И.В., Савченко В.И. Технологии получения и переработки синтез-газа // Газохимия. 2011. С. 77–84.

12. Эр-Риббиб Х., Буаллоу Ч., Веркофф Ф. Сухой риформинг метана – обзор технико-экономических обоснований // Химическая инженерия. 2012. № 29. С. 163–168.

13. Булеца О.К. Синтез-газ: совершенствование методов получения из углеводородного сырья. Многоцелевая газификация // Аналитический обзор. Черкассы, 2009. [Электронный ресурс]. URL: <http://niitehim.ck.ua> (дата обращения 05.02.2022).

14. Астафьев С.В., Рощенко О.С., Сергеев С.П. Технология получения синтез – газа паровой конверсией углеводородов // Химическая техника. 2016. № 6. С. 47–51.

15. Перескок С.А., Кудеярова Н.П., Коновалов В.М., Щелокова Л.С. Теория горения топлива

и тепловые установки в производстве вяжущих материалов: методические указания к выполнению курсового проекта по курсу «Теория горения топлива и тепловые установки в производстве вяжущих материалов» для студентов, обучающихся по направлению 18.03.02 – Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии. Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2017. 63 с.

16. Корабельников А.В., Куранов А.Л., Рыжиков С.С. // Физико-химическая кинетика в газовой динамике. 2006. Т.4. [Электронный ресурс]. URL: http://www.chemphys.edu.ru/media/files/2006-10-12-002_.pdf (дата обращения 05.02.2023)

17. Крылов О.В. Углекислотная конверсия метана в синтез-газ // Россия. Химия. журнал. 2000. Т. 44. №1. С. 19–33.

18. Лисиенко В.Г., Щелоков Я.М., Ладыгичев М.Г. Топливо. Рациональное сжигание, направление и технологическое использование: Справочное издание в 3 книгах. Книга 3.М.: Теплотехник, 2003. 592 с.

19. Штиллер В. Уравнение Аррениуса и неравновесная кинетика. М.: Мир, 2000. 176 с.

Информация об авторах

Коновалов Владимир Михайлович, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии цемента и композиционных материалов. E-mail: konovalov52@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Гостев Николай Сергеевич, бакалавр. E-mail: gostev.nik0412@gmail.com. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Федоров Александр Сергеевич, аспирант. E-mail: fedorov@akkermann.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46

Поступила 27.12.2022 г.

© Коновалов В.М., Гостев Н.С., Федоров А.С., 2023

***Konovalov V.M., Gostev N.S., Fedorov A.S.**

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

**E-mail: konovalov52@mail.ru*

MATERIAL AND THERMAL BALANCE OF THE SHAFT FURNACE FOR LIME PRODUCTION USING CHEMICAL HEAT RECOVERY

Abstract. *The results of the analysis of energy-efficient technology on the example of obtaining construction lime on the model of a shaft furnace are presented. The calculation of the material and thermal balance of a shaft furnace for lime production using synthetic fuel obtained in the process of chemical heat regeneration of secondary energy resources (SER) is presented. Saving energy resources and reducing technological emissions with a lower concentration of greenhouse gases is an urgent task. It involves the development of new approaches to improving heat exchange processes and increasing their exergetic capabilities. The involvement of secondary energy resources (heat of cooled lime) in the production of synthetic fuel – synthesis gas by steam-water and carbon dioxide conversion of natural fuel, on the one hand, allows to increase the intensity of cooling of firing products due to the high endothermic effect of the methane conversion reaction,*

and on the other hand, to increase the heat production of the resulting mixture of hydrogen and carbon monoxide. The use of this technology allows to reduce the consumption of natural fuel, by involving more than 45% of water in the synthetic fuel in the combustion process, to increase the efficiency of the installation and reduce the amount of exhaust gases by 19%.

Keywords: production of building materials, technology of chemical heat regeneration, lime firing, binders, energy saving.

REFERENCES

1. Butt Yu.M., Sychev M.M., Timashev V.V. Chemical technology of binding materials [Himicheskaya tekhnologiya vyazhushchih materialov]. M.: Higher School, 1980. 472 p.
2. Klassen V.K., Shubin V.I. Energy-resource saving in cement production [Energorekursosberezhenie pri proizvodstve cementa]. Reports of the II International. confer. on chemistry and technology of cement. M., 2000. Vol. 1. Pp. 30–34
3. Konovalov V.M., Tkachev V.V., Cherkasov A.V. Energy-efficient technology of production of Portland cement clinker [Energoeffektivnaya tekhnologiya proizvodstva portlandcementnogo klinkera]. Belgorod: Publishing House of BSTU, 2016. 99 p.
4. Spirin Yu.L. Economic, organizational and technical factors of reducing the fuel consumption of building materials [Economic, organizational and technical factors of reducing the fuel consumption of building materials]. M.: VNIIESM, 1984. 165 p.
5. Pat. No.2497766 Russian Federation, IPC C04B 7/44 Method of obtaining cement clinker [Sposob polucheniya cementnogo klinkera] / Konovalov V.M., Tkachev V.V., Litovchenko V., Goncharov A.A., Bandurin, A.A. (Russia); applicant BSTU named after V.G. Shukhov; application 5.10.2012; publ. 10.11.13, byul.No.31.3p.
6. Konovalov V.M., Pereskok S.A., Petrova M.A., Obrazumov A.N. Improving the efficiency of heat and mass transfer processes in cement production [Povyshenie effektivnosti teplomassoobmennyykh processov v proizvodstve cementa]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2016. No. 4. Pp. 176–181.
7. Arutyunov V.S., Krylov O.V. Oxidative transformations of methane [Okislitel'nye prevrashcheniya metana]. M.: Nauka, 1998. 361 p.
8. Matkovsky P.E., Sedov I.V., Savchenko V.I. Technologies of synthesis gas production and processing [Tekhnologii polucheniya i pererabotki sintez-gaza]. Gas Chemistry. 2011. Pp.77–84.
9. Rib H., Bualow C., Verkoff F. Dry reforming of methane – a review of feasibility studies [Suhoj riforming metana – obzor tekhniko ekonomicheskikh obosnovaniy]. Chemical Engineering. 2012. No. 29. Pp. 163–168.
10. Bulets O.K. Synthesis gas: improvement of methods of obtaining from hydrocarbon raw materials. Multipurpose gasification [Sintez-gaz: sovershenstvovanie metodov polucheniya iz uglevodородного syr'ya. Mnogocелеvaya gazifikaciya]. Analytical review. Cherkassy, 2009. URL: <http://niitehim.ck.ua> (date of treatment: 05.02.2022)
11. Astafyev S.V., Roschenko O.S., Sergeev S.P. Technology of synthesis gas production by steam conversion of hydrocarbons [Tekhnologiya polucheniya sintez – gaza parovoj konversiej uglevodородov]. Chemical engineering. 2016. No. 6. Pp. 47–51.
12. Pereskok S.A., Kudeyarova N.P., Konovalov V.M., Shchelokova L.S. Combustion theory and thermal installations in the production of binders [Teoriya goreniya topliva i teplovyе ustanovki v proizvodstve vyazhushchih materialov]: guidelines for the implementation of the course project on the course "Theory of fuel combustion and thermal installations in the production of binders" for students studying in the direction of 18.03.02 – Energy and resource-saving processes in chemical technology, petrochemistry and biotechnology. Belgorod: Publishing House of BSTU named after V.G. Shukhov, 2017. 63 p
13. Korabelnikov A.V. Chemical regeneration of heat and fuel conversion in power plants [Himicheskaya regeneraciya tepla i preobrazovaniya topliva v energeticheskikh ustanovkakh]. Physico-chemical kinetics in gas dynamics. 2006. Vol. 4. URL: http://www.chemphys.edu.ru/media/files/2006-10-12-002_.pdf (date of treatment: 05.02.2023)
14. Krylov O.V. Carbon dioxide conversion of methane into synthesis gas [Uglekislotnaya konversiya metana v sintez-gaz]. Russia. Chemistry. journal. 2000. Vol. 44. No. 1. Pp. 19–33.
15. Lisienko V.G., Shchelokov Ya.M., Ladygichev G. Fuel. Rational combustion, management and technological use [Toplivo. Racional'noe szhiganie, kpravlenie i tekhnologicheskoe ispol'zovanie]: A reference edition in 3 books. Book 3. Moscow: Teplotekhnika, 2003. 592 p.
16. Shtiller V. Arrhenius equation and non-equilibrium kinetics [Uravenenie Arreniуса i neravnovesnaya kinetika]. M.: Mir, 2000. 176 p.

Information about the authors

Kononov, Vladimir M. PhD. E-mail: kononov52@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Gostev, Nikolay S. Bachelor student. E-mail: gostev.nik0412@gmail.com. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Fedorov, Alexander S. Post-graduate student. E-mail fedorov@akkermann.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 27.12.2022

Для цитирования:

Коновалов В.М., Гостев Н.С., Федоров А.С. Повышение энергоэффективности тепломассообменных процессов в технологии вяжущих материалов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2023. № 10. С. 85–92. DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-10-85-92

For citation:

Kononov V.M., Gostev N.S., Fedorov A.S. Material and thermal balance of the shaft furnace for lime production using chemical heat recovery. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2023. No. 10. Pp. 85–92. DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-10-85-92