

**ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ГАЗОВ,
ПОЛУЧЕННЫХ ПУТЕМ ПЕРЕРАБОТКИ ТВЕРДЫХ ТОПЛИВ И ПРИРОДНЫХ
БИТУМОВ, В ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ПОВОЛЖЬЯ**

МИНГАЛЕЕВА Г.Р.*, ЕРМОЛАЕВ Д.В., АФАНАСЬЕВА О.В.*,
ГАЛЬКЕЕВА А.А.*, МОРЕВ А.А.*****

***Казанский государственный энергетический университет**

**** КазНЦ РАН, г.Казань**

***** СГТУ им.Ю.А. Гагарина, г.Саратов**

Представлены результаты анализа потребности регионов Поволжья в технологических газах, которые используются для производства аммиака, метанола, монооксида углерода и других крупнотоннажных химических продуктов. На основе расчетов показана возможность получения газов с необходимым соотношением $CO:H_2$ при термической переработке углей, природных битумов и горючих сланцев.

Ключевые слова: технологические газы, производство аммиака, производство метанола, твердое топливо, термическая переработка.

Введение

В настоящее время в мировых поставках нефти и газа явно обозначились признаки достаточно жесткой монополизации, что явилось источником многих политических и военных конфликтов. Усугубляет данное положение настойчивый экспорт технологий производства основных продуктов органической и неорганической химии на основе использования нефтяного и газового сырья. При этом использование твердых топлив для производства наиболее крупнотоннажных продуктов, таких как аммиак, водород, монооксид углерода, метанол, олефины, парафины, ацетилен и др., значительно снизилось. Последствием переориентации химической промышленности, а в некоторых странах и энергетики, на использование в качестве сырья и топлива только нефти и природного газа приведет к еще большему обострению борьбы на мировом рынке углеводородов. При этом весьма очевидным решением является возврат к широкому использованию для этих же целей твердых топлив – каменных и бурых углей, горючих сланцев, природных битумов и торфа. Возможности углехимии и переработки других видов твердых топлив значительно расширяются при комплексном использовании их органической и минеральной частей. В данном случае речь идет не только о разработке принципиально новых технологий, а в большей степени об усовершенствовании и повышении эффективности уже известных и хорошо зарекомендовавших себя процессов.

Характеристика технологических газов

Сырьевой основой для производства многих крупнотоннажных химических продуктов является синтез-газ – смесь водорода и монооксида углерода в определенном соотношении. Основное количество синтез-газа перерабатывается в водород для производства аммиака [1]. В настоящее время водород широко используется также в топливных элементах. Актуальным является синтез метана из смеси CO и H_2 как высококачественного заменителя природного газа (*SNG*) для энергоснабжения, производства метанола, который также может использоваться в качестве топлива.

Наиболее распространенным процессом термической переработки твердых топлив, наряду с коксованием и полуккоксованием, является газификация. В настоящее время в мире функционирует несколько сотен газификационных установок по переработке твердых топлив, предназначенных для получения химических продуктов, энергетического газа, синтез-газа, жидких синтетических топлив. Большинство установок находится в Китае, некоторое количество – в США, Западной Европе, ЮАР и других странах. Результаты научных исследований свидетельствуют о том, что продукты переработки угля практически покрывают весь перечень продуктов, получаемых из нефти и природного газа.

Развитие технологий получения синтетических газов берет начало в процессах газификации угля, которые в течении многих десятилетий, с конца XIX и до середины XX века, являлись основой химической промышленности. Все основные способы получения технологических газов были разработаны именно для термической переработки угля, одним из основных процессов которой является газификация.

Принципиально возможно газифицировать все угли, однако в этих процессах преимущественно используют молодые угли, от бурых до слабо спекающихся каменных. В качестве газифицирующих агентов обычно применяют воздух, кислород, водяной пар, диоксид углерода и (особенно в последнее время) водород, а также смеси этих веществ. Полученные газы содержат оксид и диоксид углерода, водород, метан, водяной пар и, в виде примеси, азот, который вносится с воздухом. Серу, находящуюся в топливе в связанном состоянии и являющуюся нежелательной примесью, переводят в газообразные сероводород и серооксид углерода; количество последнего незначительно.

Широкое внедрение технологий термической переработки твердых топлив зависит от спроса на производимые посредством данного процесса продукты, а также от цены и доступности сырья.

Анализ потребности региона в технологических газах и сопутствующих продуктах термической переработки твердых топлив и природных битумов

На сегодняшний день структура производства промышленной продукции в Поволжье складывается следующим образом, %: машиностроение и металлообработка – 28,7; топливная промышленность – 26,0; химическая и нефтехимическая промышленность – 11,2; электроэнергетика – 9,8; пищевая промышленность – 8,4; черная металлургия – 4,6; прочие – 10,5.

По добыче нефти и газа Приволжский федеральный округ занимает 2 место, по производству нефтепродуктов – 1-е. С учетом нефтехимии, использующей в качестве сырья продукты нефтепереработки, топливно-энергетический комплекс производит более 42% промышленной продукции. В округе существует нехватка газа и угля, которая восполняется поставками из Тюменской области и Кузбасса.

Регион является крупнейшим центром по переработке нефти и нефтегазового сырья. На базе этих производств создано большое количество нефтеперерабатывающих производств, которые выпускают спирты, смолы, синтетический каучук и волокна, моющие средства, азотные удобрения и др. Приволжский округ полностью обеспечивает себя продуктами нефтепереработки и нефтехимии. Однако для основных месторождений характерна высокая степень выработанности ресурсов – около 80%. При этом запасы угля, горючих сланцев и природных битумов практически не используются. Применение технологий газификации для этих топлив позволяет получить технологические газы определенного состава, которые могут использоваться в различных областях промышленности, в том числе химической и нефтехимической.

Рассмотрим структуру промышленного производства с точки зрения потребления основных промышленных газов в наиболее развитых регионах Поволжья.

Республика Башкортостан является крупнейшим производителем продуктов нефтепереработки, химии и нефтехимии. Здесь перерабатывается около 16% российской нефти, или каждая восьмая тонна. Акционерное общество «Салаватнефтеоргсинтез» [2] является крупнейшим производителем продукции нефтепереработки и нефтехимии. Помимо автомобильных бензинов, керосинов, дизельных топлив, топочных мазутов и сжиженных газов, предприятие занимается производством широкого спектра химических продуктов, сырьем для которых могут служить не только нефтепродукты, но и технологические газы, получаемые при термической переработке твердых топлив и природных битумов. Производственный комплекс выпускает бутиловые спирты, растворители, пластификаторы, этилен, бензол, стирол, полистирол, смолы, полиэтилен, снолен (полиэтилен высокой плотности), аммиак, карбамиды, гликоли и амины, силикагели, цеолитные катализаторы, ингибиторы коррозии, элементарную серу, пластмассы, поверхностно-активные вещества, минеральные удобрения и многое другое. В промышленности широко используется метод получения спиртов, основанный на взаимодействии алкенов с монооксидом углерода и водорода, последние из которых являются компонентами синтез-газа. В республике сосредоточены крупные предприятия по производству топлив и ароматических углеводородов: ОАО «Уфанефтехим» с мощностью 9,5 млн. тонн в год, ОАО «Уфимский нефтеперерабатывающий завод» и ОАО «Уфаоргсинтез», специализирующийся на производстве полипропилена, полиэтилена, синтетических каучуков.

В Республике Татарстан химическая и нефтехимическая промышленность составляют 17,3% от всего объема выпускаемой промышленной продукции. Химия и нефтехимия республики имеют высокие позиции на российских и мировых рынках. В Республике Татарстан выпускается 60% отечественного полистирола, 50% полиэтилена, 31% полипропилена, 37% синтетических каучуков, 30% шин, 14% моющих средств. Регион обладает перспективными запасами торфа, нефтебитумов, бурого и каменного угля, горючих сланцев. Одним из крупнейших предприятий органического синтеза в России является ПАО «Казаньоргсинтез» [3]. Производственный комплекс является крупнейшим поставщиком и экспортером полиэтилена (более 38%). Путем термических и каталитических преобразований углеводородного сырья здесь производятся: этилен, пропилен, полиэтилен, фенол, ацетон, кислород, азот, холод, фенол, ацетон, Бисфенол А, бензол, поликарбонаты и многое другое. ОАО «Нижнекамскнефтехим» [4] выпускает продукцию нефтепереработки: различные виды пластика, гликоли, каучуки, полиэфир, поверхностно-активные вещества, простые углеводороды, смолы, продукты органического синтеза, газы. Значительная часть химической продукции может быть получена путем каталитической переработки технологических газов, содержащих монооксид углерода и водород, в том числе компонент топлива – метил-трет-бутиловый эфир. Кроме того, в Татарстане недавно введен в действие новый завод по производству аммиака – «Аммоний» в г. Мензелинске.

Кировская область обладает значительными запасами торфа, кроме того в некоторых районах выявлены залежи нефти и горючих сланцев. В структуре производства химическая и нефтехимическая промышленность составляют 20,2%. В области сосредоточены предприятия по производству шин, фармацевтических препаратов, полимерных изделий, минеральных удобрений, продуктов органического синтеза. Сырье для производства химической продукции ввозится на территорию области из других регионов. «Завод минеральных удобрений КЧХК» [5] производит аммиак и азотные удобрения. «ГалоПолимер» [6] выпускает фторопласты,

фторкаучуки, мономеры, кислородосодержащие фторированные соединения, фторированные газы, смазки и жидкости, хлорорганические соединения и др.

В Нижегородской области химическая и нефтехимическая промышленность составляет 9,3% объема производств. Крупнейшим предприятием является ООО «ЛУКОЙЛ-Нижегороднефтеоргсинтез», который производит более 70 наименований продукции нефтепереработки. Также в области производятся минеральные удобрения (ОАО «Корунд»), полимерные материалы (ОАО «Пластик»), синтетические смолы, фенол и др. (ОАО «Оргстекло»).

Крупнейшими предприятиями нефтехимической и химической отрасли Оренбургской области являются ОАО «Орскнефтеоргсинтез» и ОАО «Оренбургнефтемаслозавод», выпускающие широкий спектр топлив, масел, смазок, присадок, газов и товарную серу.

Химическая и нефтехимическая промышленность Пермского края составляет 17% всего промышленного производства региона. Крупнейшим предприятием является ОАО «ЛУКОЙЛ-Пермнефтеоргсинтез». В области расположен крупнейший в России завод по производству метанола и его производных – ОАО «Метафракс». Предприятие выпускает более 1 млн. тонн метанола в год, 308 тыс. тонн формалина, 193 тыс. тонн концентрата карбамидоформальдегидного и около 50 тыс. тонн других производных метанола. Получение метанола основано на каталитической реакции взаимодействия оксида углерода и водорода в соотношении 1:2. Большая часть метанола производится из природного газа, путем его конверсии водяным паром. Однако эту стадию возможно не проводить при применении технологии газификации твердого топлива (угля или горючих сланцев) и природных битумов. Определенные режимные условия проведения процесса позволяют получить технологический газ заданного состава для дальнейшей каталитической переработки в метанол или другие продукты химической и нефтехимической отрасли. Также здесь расположены крупные предприятия по производству удобрений и аммиака (ОАО «Минеральные удобрения», ОАО «Азот»), продуктов органического синтеза и полимеров (ОАО «ГалоПолимер Пермь»), бензола и МТБЭ (ОАО «Уралоргсинтез»).

Самарская область обладает крупными запасами нефти, природного и попутного газов, асфальтитов, битумов и горючих сланцев. Химическая и нефтехимическая промышленность составляют 11,7%. Химическими и нефтехимическими предприятиями выпускается 20% российского производства аммиака и каучуков, 10% метанола, 5% смол, пластмасс и химических средств защиты растений. ОАО «Куйбышевазот» является одним из ведущих предприятий по производству аммиака, азотных удобрений, капролактама и технологических газов (аргон, азот, кислород, аммиак) [7]. Предприятие выпускает аммиак в объеме 575 тыс. тонн, сульфат аммония – 448 тыс. тонн, аммиачной селитру – 549 тыс. тонн, мочевины – 319,9 тыс. тонн. ОАО «Тольяттиазот» является единственным предприятием в России, способным производить 3 млн. тонн аммиака в год. Производство аммиака основывается на каталитической реакции взаимодействия азота с водородом, которые могут быть получены в результате воздушной газификации твердых топлив и природных битумов при определенных режимных параметрах.

В России на производство 1 тонны аммиака расходуется 1200 м³ природного газа. При конверсии СО для получения водорода из синтез-газа также образуется углекислый газ, который непосредственно используется для производства мочевины. Также синтез-газ является продуктом паровой конверсии природного газа, которая является начальным этапом производства аммиака, – таким образом, производство из технологических газов (СО+Н₂) может быть сокращено на одну стадию. На территории области расположен «Самаранефтеоргсинтез» (САНОРС) – один из лидеров

нефтехимической отрасли. На предприятии выпускается широкий спектр продукции: сжиженные углеводороды, бензол, фенол, ацетон, смолы, синтетический этанол, катализаторы и многое другое.

В Саратовской области имеются запасы нефти, природного газа и горючих сланцев. Химическая и нефтехимическая промышленность составляют 13,9% от общего объема промышленного производства. Крупнейшими предприятиями отрасли являются «Саратовский НПЗ», ООО «Саратоворгсинтез», ОАО «Балаковорезинотехника», Балаковский филиал АО «Апатит» по производству удобрений.

При получении метанола стехиометрическое соотношение компонентов $H_2:CO$ в исходном газе должно быть 2 и $H_2:CO_2=3$. Чтобы отразить значение всех компонентов, участвующих в процессе, используют так называемый функционал $(H_2-CO_2):(CO+CO_2)$. При значении функционала равного 2,01-2,15 возможно осуществление синтеза метанола из любого сырья, содержащего углерод. Однако в большинстве случаев состав исходного газа требует корректировки. В промышленных условиях значение функционала находится в пределах от 0,61 до 2,33. Для производства метанола в основном используется природный газ и продукты нефтепереработки. Для производства 1 т метанола-сырца путем конверсии природного газа в шахтных конвекторах необходимо 766 м^3 природного газа или 2519 м^3 конвертированного газа, содержащего водород и оксид углерода; при высокотемпературной конверсии – 873 м^3 природного газа или 2405 м^3 конвертированного газа после очистки от диоксида углерода; при паровой конверсии в трубных печах – 699 м^3 природного газа или 2695 м^3 конвертированного газа [8].

При производстве аммиака необходимое стехиометрическое соотношение исходных компонентов $N_2:H_2$ должно быть равным 1:3. Водород получают путем паровой конверсии оксида углерода, содержащегося в синтез-газе, а азот из воздухоразделительной установки. Таким образом получают менее 10% мирового производства аммиака. В России на 1т аммиака расходуется $1115 - 1380 \text{ м}^3$ природного газа. Такое высокое потребление связано с устаревшим оборудованием.

Монооксид углерода получают криогенной сепарацией синтез-газа, поэтому необходимо достичь наименьшего соотношения $H_2:CO$ в исходном газе [9].

Технологические основы переработки твердых топлив

Возможность использования твердых топлив и природных битумов для производства технологических газов, которые служат сырьем для производства метанола, аммиака, монооксида углерода, иллюстрируются расчетами, проведенными по зависимостям, полученным на основе математических моделей для реакторов различных типов [10,11].

Для расчета состава генераторного газа были отобраны 3 марки углей: Камский длиннопламенный, Кузнецкий газовый и Ирша-Бородинский бурый, которые существенно отличаются по содержанию основных компонентов. Водоугольное топливо на основе этих углей задавалось как смесь 50% пыли и 50% воды. В качестве окислителя использовался кислород, коэффициент избытка воздуха составил 0,4. Состав и свойства исходных углей представлены в табл. 1, состав горючих сланцев – в табл. 2.

Таблица 1

Состав углей и природных битумов

Состав, % масс. (на рабочую массу)	Ирша- Бородинский бурый уголь	Камский длиннопламен- ный уголь	Кузнецкий газовый уголь	Природные битумы Ашальчинского месторождения
Влажность	32	8	9	0
Зольность	10,2	16	10,9	0
Выход летучих	49	41	39	0
C	72	74,5	82,5	83,6
H	5	5	5,8	12,1
O	20,8	13,3	8,3	0,5
N	1,3	2	2,7	0,4
S	0,9	4,5	0,7	3,4
Низшая теплота сгорания (МДж/кг)	14,9	29,7	26,1	41,1

Таблица 2

Элементный состав ОБ месторождений волжских сланцев [12]

Месторождение		Состав органического вещества, % масс			
C	H	N	S	O	
Кашпирское	62,7	7,4	1,8	5,8	22,3
Савельевское	61,7	7,2	1,3	6,2	23,6
Озинское	65,5	8,3	1,4	5,6	19,2
Общий Сырт	62,9	8,1	1,2	7,3	20,5
Перелюб- Благодатовское	61,9	7,4	1,4	12,3	17

Органическая масса угля имеет сложную структуру и состоит из молекул различных групп соединений (кислородсодержащих, серосодержащих, азотсодержащих, углеводов). В отличие от угля, природные битумы принято рассматривать как совокупность трех основных компонентов, каждый из которых имеет определенную структуру. В качестве объекта исследования нами рассмотрен природный битум Ашальчинского месторождения Республики Татарстан. Битумы представляют собой сложную смесь высокомолекулярных углеводов нефти и гетероатомных соединений, содержащих кислород, серу, азот и металлы. Несмотря на разнообразие методов исследования, химический состав битумов значительно менее изучен, чем их физические, реологические и коллоидные свойства.

Рассмотрим битум как совокупность трех компонентов: масел, смол и асфальтенов. Содержание остальных компонентов невелико (менее 1%), поэтому их можно не учитывать.

Термическое превращение угольной пыли и водоугольного топлива в газогенераторе включает в себя реакции газификации коксового остатка, окисления углерода водяным паром, диссоциации и конверсии метана и горения летучих.

Процесс разложения природных битумов может рассматриваться как совокупность нескольких этапов. Первоначально под воздействием температуры происходит нагрев и образование микротрещин за счет испарения воды, а затем водяной пар реагирует на поверхности фракционных групп битума с образованием сложных углеводов. При температуре свыше 1000 °С часть пара диссоциирует на водород и кислород, которые участвуют в дальнейших реакциях разложения.

Расчет состава газа с использованием программного пакета «*Comsolmultiphysics*» проводится при следующих условиях. При газификации угольной пыли Кузнецкого, Камского и Ирша-Бородинского углей коэффициент избытка воздуха (окислителя) принимается равным 0,4, в качестве окислителя используется кислород. Водоугольная суспензия, приготовленная на основе углей перечисленных марок, представляет собой смесь угольной пыли и воды в соотношении 1:1 по массе. При газификации водоугольной суспензии кислород не подается, окисление происходит за счет водяного пара, образовавшегося при нагреве капель ВУТ. Для проведения процесса газификации водоугольной суспензии, полученной из Ирша-Бородинского угля, уголь предварительно подсушивается до остаточной влажности 16%. Было принято, что природный битум Ашальчинского месторождения перерабатывается методом паровой газификации. Массовое отношение битума к пару составляет 0,4, что соответствует оптимальному отношению.

Результаты расчетов состава генераторного газа при температуре 1700 К для Камского угля, водоугольного топлива на его основе и природных битумов показаны на рис. 1–3. При газификации Кузнецкого, Камского и Ирша-Бородинского углей в ходе проведения двухстадийного процесса с промежуточным выходом летучих (пиролиз) состав газа изменится следующим образом. Для всех углей наибольшим является содержание СО. При увеличении температуры содержание СО несколько снижается: с 85 до 78% для Кузнецкого угля; с 82 до 78 – для Камского; с 80 до 72 – для Ирша-Бородинского. Наибольшее содержание СО₂ в равновесной смеси наблюдается при T=1700 К, которое достигает 15% для Камского угля. Содержание Н₂ и СН₄ во всех газах, полученных при газификации угольной пыли, мало и достигает 7% для Н₂ и 5% для СН₄ для Ирша-Бородинского бурого угля, и при увеличении температуры не изменяется.

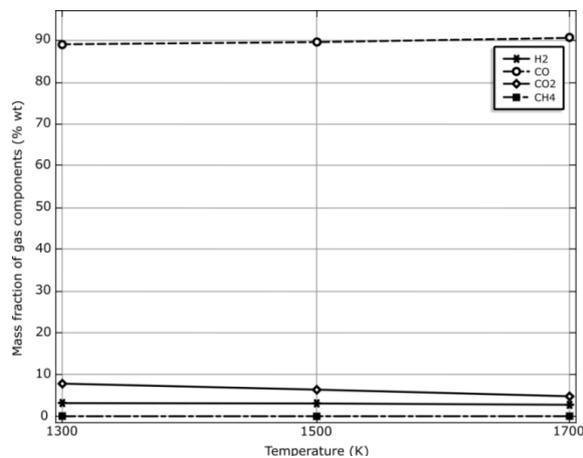


Рис. 1. Массовое содержание компонентов газа, полученного при газификации угля

Иная картина наблюдается при газификации водоугольной суспензии. Во всех случаях содержание СО несколько ниже, чем при аналогичных условиях в процессе газификации угольной пыли, также как и СО₂, но существенно возрастает содержание Н₂. Мольное отношение СО:Н₂ практически достигает 2 для всех вариантов водоугольных суспензий.

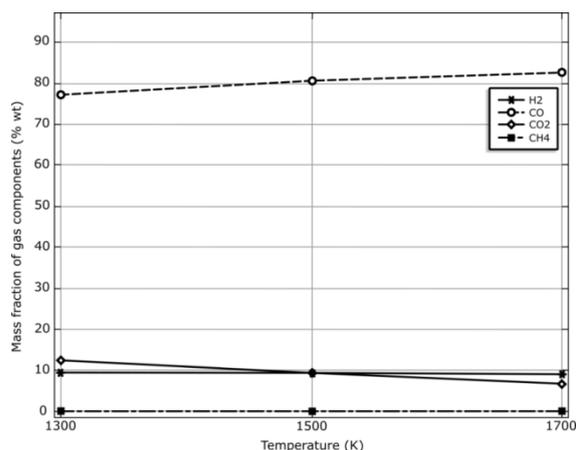


Рис. 2. Массовое содержание компонентов газа, полученного при газификации водоугольной суспензии

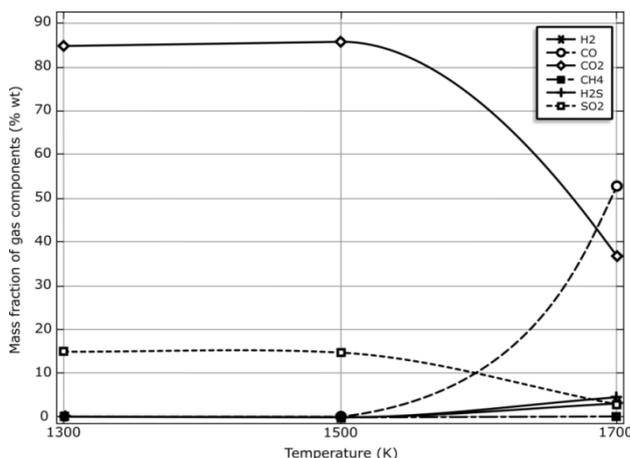


Рис. 3. Массовое содержание компонентов газа, полученного при газификации природных битумов

Полученные результаты по газификации природного битума Ашальчинского месторождения Республики Татарстан свидетельствуют о том, что при температуре 1000 К процесс происходит недостаточно интенсивно и равновесное состояние достигается только после 80 с. При этом в составе газа присутствует значительное количество неразложившихся углеводородных соединений и водяной пар. Не полностью разлагаются масла, присутствуют 3-methyl-1,2,3,4-tetrahydrochrysene и 2-(cyclohexylmethyl)-1,2,3,4-tetrahydronaphthalene. При более высокой температуре 1300 К основную долю образовавшейся парогазовой смеси составляют продукты разложения компонентов битумов – горючие углеводороды и неразлагающиеся в данном процессе вещества. Однако содержание целевых компонентов генераторного газа невелико: CO – 10,8%, H₂ – 1,7, CH₄ – 0,8. Содержание водяного пара в смеси уменьшается с 28,5 до 9,1%, высоким является содержание аценафтена C₁₂H₁₀ – 11,2%. Проведение процесса при температуре 1700 К приводит к тому, что преобладающим становится содержание CO – 29,3%, до 2,9 % увеличивается содержание H₂, а CH₄ немного снижается – до 0,6%, остаточное содержание H₂O – 5,8%. Повышение температуры процесса до 2000 К практически не приводит к улучшению качественного состава генераторного газа.

Угли различных марок с наибольшей эффективностью перерабатываются в поточных газогенераторах, в том числе и в виде водоугольных суспензий.

Природные битумы также могут перерабатываться в поточных газогенераторах, при этом они должны быть предварительно подогреты и распылены. Целесообразно в качестве распыливающего агента применять водяной пар, который одновременно служит окислителем.

Горючие сланцы могут перерабатываться в реакторах с кипящим слоем или в установках с твердым теплоносителем, в качестве которого может служить зола, которая образующаяся при сжигании сланцев. Данные по переработке горючих сланцев, полученные в лабораторных условиях, представлены в табл. 3.

Таблица 3

Обработка данных по полукоксованию сланца
Перелюб-Благодатовского месторождения

Наименование показателя, ед. измерения	№ опыта			
	1	2	3	4
Соотношение сланец/теплоноситель	0,27	0,34	0,567	0,3315
Расход твердой фазы, кг/ч	70,55	59,11	41,45	60,24
Температура теплоносителя, К	891	925	1023	933
Температура в реакторе, К	766	767	763	775
Газы дезоксидации (CO ₂ , H ₂ O, H ₂ S), % масс	11,16	10,57	6,62	11,15
Легкие газы (H ₂ , CO, CH ₄ , ∑ C _m H _n), % масс	2,8	3,87	3,9	9,75
Смола, % масс.	20,62	18,6	12,56	6,7
Сумма, % масс.	34,58	33,04	23,08	27,6
Остаточное содержание ОВ в полукоксе, % масс.	6,82	8,36	18,32	13,8

Выводы

Анализ полученных данных свидетельствует о том, что угли различных марок, природные битумы и горючие сланцы, имеющие аналогичный элементный состав, могут служить взаимозаменяемым сырьем для производства технологических газов, содержащих водород и монооксид углерода.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Республики Татарстан в рамках научного проекта № 15-48-02313 р_поволжье_а «Исследование физико-химических основ процессов получения технологических газов при термической переработке сланцевых углеводородов и природных битумов».

Литература

1. Химические вещества из угля / Под ред. И.В.Калечица. М.: Химия, 1980. 616 с.
2. О компании [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://salavat-neftekhim.gazprom.ru/about>.
3. ПАО «Казаньоргсинтез». Производство [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.kazanorgsintez.ru>.
4. Продукция ПАО «Нижнекамскнефтехим» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.nknh.ru/products>.
5. Уралхим [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.uralchem.ru>.
6. ГалоПолимер [Электронный ресурс] режим доступа: <http://www.halopolymer.ru>.
7. Куйбышевазот [Электронный документ] Режим доступа: <http://www.kuazot.ru>.
8. Технология синтетического метанола / Под ред. проф. Караваева М.М. М.: Химия, 1984.
9. Higman C., Burt M. Gasification. GulfProfessionalPublishing, USA, 2003.

10. Морев А.А. Оптимизация энерготехнологической установки для переработки сернистого горючего сланца в псевдооживленном слое / А.А. Морев, В.Ф. Симонов // Известия вузов. Проблемы энергетики. 2014. №1–2. С. 81–87.

11. Галькеева А.А. Математическая модель бескислородной газификации водоугольного топлива в потоке / А.А. Галькеева, Г.Р. Мингалеева// Проблемы совершенствования топливно-энергетического комплекса: сб. науч. тр. Вып. 8. Совершенствование энергетических систем и теплоэнергетических комплексов: материалы XIII Международной научно-технической конференции. Саратов, 1–3 ноября 2016 г. Саратов, 2016.С. 297–300.

12. Хрусталева Г.К. Характеристика горючих сланцев основных рабочих пластов перспективных месторождений Поволжья / Г.К. Хрусталева, А.В. Внуков // Горючие сланцы. 1986. Т. 3, № 1. С. 29-40.

Поступила в редакцию

21 октября 2016

г.

Мингалеева Гузель Рашидовна – д-р техн. наук, заведующая кафедрой «Энергетическое машиностроение» (ЭМС) Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ). E-mail: mingaleeva-gr@mail.ru.

Ермолаев Денис Васильевич – канд. техн. наук, старший научный сотрудник КазНЦ РАН.

Афанасьева Ольга Валерьевна – канд. техн. наук, начальник отдела инноваций и международного сотрудничества Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ). E-mail: eccolga@mail.ru.

Галькеева Айгуль Ахтамовна – инженер отдела инноваций и международного сотрудничества Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ).

Морев Александр Александрович – доцент кафедры «Промышленная теплотехника» (ПТ) Саратовского государственного технического университета (СГТУ) имени Гагарина Ю.А., г. Саратов.