

# Топливо и энергетика

УДК 621.43:662.765

**Марченко А.П.**, докт. техн. наук,  
**Осетров А.А.**, канд. техн. наук, **Кравченко С.С.**, аспирант  
**Национальный технический университет «ХПИ», Харьков**  
ул. Фрунзе, 21, 61002 Харьков, Украина, e-mail: dvs@kpi.kharkov.ua

## Проблемы и перспективы производства синтетических газовых топлив в Украине (Обзор)

Рассмотрены проблемы и перспективы производства синтетических газовых топлив в мире и Украине. Проанализированы современное состояние проблемы, сырьевая база для производства синтез-газа, процессы и технологии его получения, перспективные способы газификации, влияние различных факторов на эффективность процессов газификации и производства синтетических топлив. Показано, что технологии газификации интенсивно развиваются и используются в процессах тепло- и электроснабжения, производства моторных топлив, водорода, метанола, синтетического природного газа и большого количества других товарных продуктов. Наиболее перспективными видами сырья для производства синтез-газа в Украине являются уголь, торф, промышленные и городские отходы. Рассмотрены особенности и перспективы разных способов газификации, в частности, технологий фирм BGL, HTW, GE, Shell и др. Особое внимание уделено вопросам эффективности процессов и технологий на разных этапах производства синтез-газа и синтетических топлив. *Библ. 17, рис. 5, табл. 4.*

**Ключевые слова:** альтернативное топливо, синтез-газ, сырьевая база, процесс газификации, производственные затраты.

Рост цен на традиционные топлива и ухудшение экологии окружающей среды, связанное с их использованием, вынуждают к поиску альтернативных источников энергии для двигателей внутреннего сгорания (ДВС). Эта проблема особенно остро стоит перед такими странами, как Украина, вынужденными импортировать большую часть энергоресурсов.

В последнее время интерес исследователей привлекает проблема использования синтетических топлив в энергетических установках. Эти топлива можно производить из практически любого углеродсодержащего сырья, например, из

угля, торфа, городских и сельскохозяйственных отходов.

Основой для производства синтетических моторных топлив является синтез-газ, получаемый газификацией исходного сырья. Он представляет собой смесь газов, основными из которых являются оксид углерода и водород. Синтез-газ можно непосредственно использовать в качестве топлива для ДВС, либо производить из него водород, синтетический природный газ (SNG), метанол, синтетические бензин и дизельное топливо, аммиак и большое количество различных химических веществ.

При оценке перспектив производства синтетических топлив важными являются вопросы наличия достаточной сырьевой базы, инфраструктуры, эффективности технологии, систем очистки и переработки, физико-химических свойств исходного сырья, синтез-газа и синтетического топлива, экологичности, показателей энергетических установок и др. Очевидно, что данная проблема является комплексной, ее целесообразно рассматривать с использованием критериев эффективности на всех стадиях жизненного цикла альтернативного топлива [1].

Цель настоящей работы — проанализировать современное состояние проблемы производства синтетических топлив, сырьевой базы, эффективности процессов и технологий производства синтетических топлив в условиях Украины.

### **История и современное состояние проблемы производства синтетических топлив**

Процессы газификации известны давно. Еще в XIX в. во многих городах Европы и Северной Америки существовали газовые заводы по производству отопительного, бытового и светильного газов, получаемых сухой перегонкой угля или древесины [2].

В начале XX в. появились работы, положившие начало теории синтеза углеводородов из смеси CO и H<sub>2</sub>, которую назвали синтез-газом. В 1926 г. была опубликована работа Ф.Фишера и Г.Тропша [3], в которой отмечалось, что при атмосферном давлении и температуре 270 °С в зависимости от вида катализатора можно получать жидкие и даже твердые гомологи метана. Позже обнаружили, что из синтез-газа можно получать широкий спектр углеводородов и других химических веществ, в частности, бензиновые и дизельные моторные топлива, аммиак, альдегиды, спирты и т.д. Процесс синтеза углеводородов был назван синтезом Фишера-Тропша (ФТ-синтезом).

Наибольших объемов синтез углеводородов из смеси CO и H<sub>2</sub> достиг в 1930–1940 гг. в Германии, не имевшей доступа к нефтяным месторождениям и вынужденной искать эффективные пути превращения угля в жидкие топлива [2, 4, 5].

В послевоенные годы производство углеводородов из твердых ископаемых многократно уменьшилось в связи с интенсивным ростом нефтедобычи, снижением цен на нефтепродукты. Процессы ФТ-синтеза применяли преимущественно в химической промышленности для производства аммиака, метанола и других химических веществ. В качестве сырья для газификации использовали относительно дешевый природный газ. Несмотря на снижение интереса к производству синтетических топлив в послевоенные годы получили развитие процессы ФТ-синтеза за счет разработки новых материалов для катализаторов, повышения энергоэффективности процесса. Были разработаны альтернативные ФТ-синтезу процессы TIGAS и MTG, отработана технология производства так называемого синтетического природного газа (SNG), получаемого из синтез-газа на кобальтовых или никелевых катализаторах [6].

Интерес к производству синтетических топлив возродился в 1970-е гг. в связи с нефтяным кризисом и стремительным ростом цен на нефтепродукты. В настоящее время в ЮАР, США, Германии, Китае, Австралии, Индонезии, Катаре и других странах ведутся интенсивные исследования по газификации разнообразного сырья. Согласно данным Министерства энергетики США [7], в 2010 г. в мире работали 144 завода и 412 газификаторов, суммарная мощность которых составляла 70,8 ГВт, строились 11 заводов с 17 газификаторами, еще 37 заводов с 76 газификаторами планировалось построить в 2011–2016 гг. [7].

Газификационные заводы работают в 29 странах. Лидирующие позиции в мире (37 % производимой мощности) занимает азиатско-австралийский регион благодаря интенсивному развитию этой отрасли в Китае. Затем следует африканско-средневосточный регион, где Южно-Африканская Республика традиционно производит большие объемы синтетических моторных топлив, а в Катаре построены крупные производственные мощности для получения синтез-газа. Наибольшие объемы наращивания мощностей по производству синтез-газа (65 %) запланированы в Северо-Американском регионе благодаря активной политике США в этом направлении [7].

Большую часть синтез-газа (51 % общего объема) произведено в 2010 г. из угля, на втором месте (25 %) была нефть, на третьем (22 %) — природный газ. В качестве сырья также использовали нефтяной кокс, биомассу и отходы. Большинство заводов, которые строятся в настоящее время или планируются, будут работать на угле [7].

Рыночные продукты, получаемые из синтез-газа, включают химические вещества (45 %), жидкие моторные топлива (38 %), электроэнергию (11 %) и газовые топлива (6 %). Большая часть мирового производства моторных топлив принадлежит фирме Sasol в Южно-Африканской Республике. В последнее время мощности по

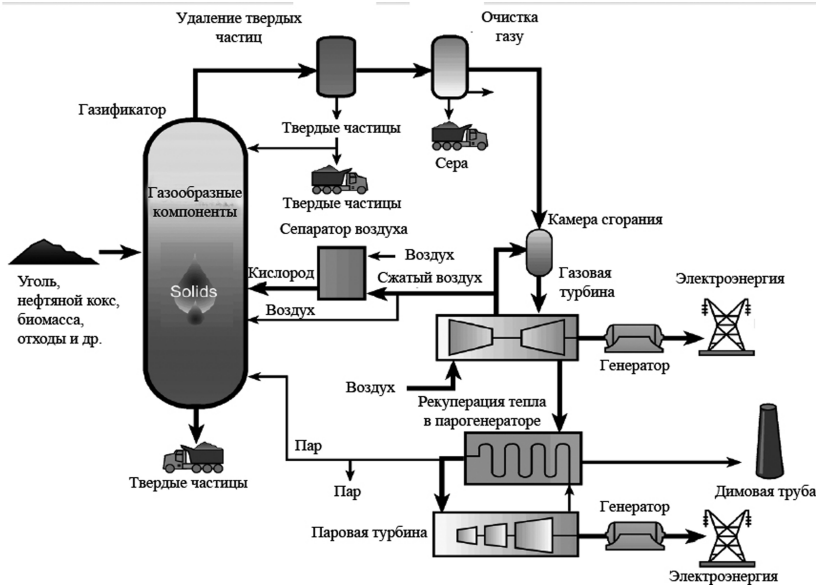


Рис.1. Схема IGCC-завода [8].

производству синтетических моторных топлив интенсивно наращивают США и Китай [7].

С середины 1990-х гг. синтез-газ используется в качестве топлива для производства электроэнергии на тепловых электростанциях. Электрическую энергию вырабатывают в так называемом интегрированном газификационном бинарном цикле – Integrated Gasification Combined Cycle (IGCC) (рис.1). В газификаторе получают синтез-газ, который очищают от твердых частиц и продуктов, содержащих серу. Очищенный синтез-газ используется в качестве топлива для газовой турбины. После турбины отработанные газы идут на производство пара, который направляют на паровую турбину [8].

Эта прогрессивная технология развивается в нескольких странах. Например, в США по состоянию на 2012 г. реализовано четыре проекта суммарной мощностью 1700 МВт. Запланировано построить еще несколько десятков энергоблоков суммарной мощностью около 20 тыс. МВт.

В последнее время в некоторых развитых странах введены жесткие нормы на содержание диоксида углерода в отработавших газах. Поэтому на современных электростанциях с IGCC циклом синтез-газ обрабатывают паром в дополнительном реакторе. При этом  $CO$ , содержащийся в синтез-газе, конвертируют в  $CO_2$  и  $H_2$ . Диоксид углерода отделяют в сепараторе, а синтез-газ направляют на газовую турбину.

Прогрессивной концепцией является возведение так называемых полигенерационных заводов (Poly-generation plant), на которых про-

изводят электрическую энергию, синтетические топлива, водород и химикаты.

Страной-лидером в мире по внедрению газификационных технологий является Китай. В настоящее время в Китае работает более десяти крупных заводов по производству синтез-газа суммарной мощностью около 34 млрд  $m^3$ . Большинство действующих мощностей предназначено для производства метанола и аммиака. Кроме того, строятся заводы по производству жидких моторных топлив и сжиженного синтетического природного газа (LNG). До 2015 г. предусмотрено заменить четверть потребления природного газа синтетическим. По прогнозам экспертов, к 2020 г.

производство синтез-газа в Китае может превысить 70 млрд  $m^3$ .

Активные действия по поиску альтернативных российскому природному газу источников энергии предпринимаются в последние годы и в Украине. В планах украинского правительства предусмотрено построить пять газификационных заводов и производить синтез-газ в количестве, эквивалентном 3 млрд  $m^3$  природного газа. Полученный синтез-газ предполагается использовать на ТЭЦ и химических предприятиях. Есть намерения производить около 800 тыс. т синтетического бензина и дизельного топлива.

### Сырьевая база для производства синтез-газа

Эффективность технологии производства синтетических газовых топлив связана с физико-химическими свойствами исходного сырья. Использование твердых видов сырья требует включения в технологию производства синтез-газа дополнительных стадий: сушка, измельчение, разделение углеводородной и минеральной составляющих, утилизация шламов и др.

Большинство альтернативных природному газу и нефти видов сырья отличаются меньшим содержанием водорода (большим массовым соотношением  $C : H$ ), а также высоким содержанием кислорода, азота и серы (табл.1). Это предопределяет меньшую низшую теплоту сгорания такого сырья, поэтому превращение его в жидкие и газообразные топлива сводится, как правило, к удалению минеральной составляющей и нежелательных гетероатомов, а также к

**Таблица 1. Характеристики товарных моторных топлив и сырья для производства синтез-газа**

Сырье	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Низшая теплота сгорания, МДж/кг	Элементарный состав, % (мас.)					Массовое соотношение С : Н
			С	Н	N	S	О	
Нефть	800–1000	40,0–42,0	83,0–87,0	14,0–10	0,1–1,2	0,1–8,0	0,1–2,0	6,7–8,3
Горючие сланцы	1600–2300	4,1–16,6	56,0–80,0	6,0–10,0	0,3–2,5	0,2–12	11,0–24,0	6,7–11,0
Каменный уголь	1150–1500	16,0–29,0	76,0–94,0	6,0–4,0	1,5–1,8	0,5–7,0	17,5–2,0	11,0–23,5
Бурый уголь	1300	9,0–15,0	65,0–76,0	6,8–4,0	0,1–3,0	0,3–6,3	28,0–17,0	9,6–19,0
Биомасса (древесина)	500–1000	16,0–24,0	48,0–53,0	7,5–5,5	0,01–0,3	0,0–0,4	38,0–44,0	7,0–8,7
Природный газ (метан)	0,7168	49,9	75,0	25,0	–	–	–	3,5
Торф	1570–1710	12,6	55,0–56,0	6,0	0,5–3,0	0,12–1,5	35,0–40,0	–

насыщению водородом в необходимых количествах [9, 10].

К перспективным видам сырья для производства синтетических газовых топлив в Украине можно отнести такие полезные ископаемые, как торф и уголь, залежи которых являются значительными, инфраструктура хорошо развита, технология отработана, а цены существенно ниже стоимости нефти и природного газа.

Торф – низкокалорийное топливо, богатое органическими соединениями. Украина обладает 47 % мировых запасов торфа. По данным Госкомгеологии, на территории Украины выявлены и разведаны 3118 торфяных месторождения с геологическими запасами 2,2 млрд т [11]. В настоящее время в Украине разрабатываются около 500 месторождений торфа. Около 81 % добытого в Украине торфа используется в качестве топлива, а 19 % как удобрения.

Основными недостатками торфа как сырья для производства синтез-газа является меньшая, чем у угля, энергоемкость и эффективность сгорания вследствие высокого содержания влаги (до 65 %). Все это усложняет технологию и увеличивает капитальные затраты на установку по производству синтез-газа.

Несмотря на указанные недостатки торф имеет низкую стоимость, что обеспечивает меньшие производственные затраты на сырье. Это топливо содержит небольшое количество серы, его использование снижает затраты на очистку синтез-газа от продуктов его окисления. При сгорании торфа образуется небольшое количество золы, что облегчает ее удаление из установки.

В отличие от месторождений нефти и газа залежи угля более равномерно распределены по странам мира, что обеспечивает стабильность мировых цен на данный энергоресурс. Мировые резервы угля составляют более 847 млрд т. При сохранении современной динамики потребления их хватит примерно на 120 лет [4, 12].

Уголь приобретает ключевое значение в формировании топливно-энергетического балан-

са Украины. Он является единственным отечественным топливом, добыча которого может полностью удовлетворить запросы теплоэнергетики. В недрах Украины содержится около 300 млрд т угля. По состоянию на конец 2010 г. запасы угля, которые можно добывать в нынешних экономических и эксплуатационных условиях, составляли 34 млрд т, в том числе полубитуминозного и бурого угля 18 млрд т. По оценкам специалистов, в Украине балансовых запасов угля при годовом объеме добычи около 100 млн т хватит на 400 лет и более [12, 13].

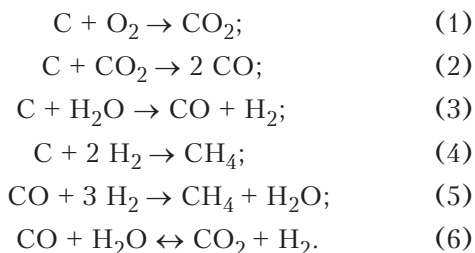
В качестве сырья для газификации наибольшую ценность имеет реакционноспособный уголь, к которому принадлежит значительная часть каменного и все виды бурого угля. Сейчас в Украине добывают преимущественно каменный уголь. Для обеспечения запланированных объемов производства синтез-газа (6 млрд м<sup>3</sup>/год) нужно увеличить добычу угля на 12 млн т, что является проблематичным при существующих годовых объемах увеличения добычи угля (около 2–2,5 % в 2012 г.).

Целесообразным является внедрение технологий по производству синтез-газа с использованием бурого угля, добыча которого почти не ведется. Запасы бурого угля в Украине оцениваются в 6–8 млрд т. Это топливо не подходит для сжигания на ТЭС, однако хорошо газифицируется в промышленных установках.

К перспективным видам сырья для производства синтез-газа можно отнести промышленные и бытовые отходы, накопление которых представляет глобальную экологическую проблему, а их утилизация позволит получить дополнительный экономический эффект.

### Процесс и технология

Процессы газогенерации являются сложными многоступенчатыми процессами. Например, процесс образования синтез-газа из угля можно описать такими гетерогенными и гомогенными реакциями [2, 8, 14]:



Общая схема процесса производства синтез-газа из топлив разных фазовых составов представлена на рис.2 [2].

На современных производствах сырье, как правило, газифицируют кислородом и водяным паром (реакции (1), (3)). Можно использовать вместо кислорода воздух, но в этом случае синтез-газ будет содержать до 40–50 % балластного азота, что приводит к существенному снижению теплоты сгорания газа, требует использования габаритных теплообменников и других элементов, увеличения расхода реагентов и мощностей компрессоров для прокачки больших объемов синтез-газа. Несмотря на значительные затраты на установку по получению кислорода (около 40 % общих затрат) общие капитальные затраты на газификатор приблизительно такие же, как на газификатор с окислением воздухом [2].

Реакции окисления сырья кислородом до СО являются эндотермическими (например, реакция (1)), протекающими с выделением теплоты, а взаимодействие сырья с паром и образованием  $\text{H}_2$  и СО (например, реакция (3)) является экзотермическим процессом.

В газогенераторе уголь, как правило, сначала подогревают в реакционной камере, где происходят процессы пиролиза при температурах более 400 °С. В ходе пиролиза образуются обогащенные водородом нестабильные вещества вместе со смолами, фенолами и газообразными углеводородами. После этого уголь газифицируют с освобождением газов, паров смол и золы. Процесс проходит при 800–1800 °С и, как правило, повышенном давлении (3–8 МПа), что позволяет повысить производительность и КПД газогенерации.

После газогенератора синтез-газ очищают, удаляя пыль, смолы, соединения серы, высо-

ко кипящие углеводороды и аммиак. Применяют способы химической очистки, промывки или сухой адсорбции. Очистка газа требует значительных затрат. Капитальные затраты на установку по очистке синтез-газа являются сопоставимыми с затратами на газогенератор [2, 14].

Очищенный газ идет на производство синтетических жидких топлив, природного газа, водорода, аммиака и т.д., либо используется непосредственно в энергоустановках (газовых турбинах, ДВС).

### Способы газификации

Оборудование для газификации может быть классифицировано по трем основным категориям: газификаторы со стационарным слоем (наиболее известные производители – Lurgi, Sasol Lurgi, British Gas Lurgi (BGL), с псевдооживленным слоем (High Temperature Winkler (HTW), RWE, HRL Ltd. Australia, Bharat Heavy Electricals Limited (BHEL), U-gas), с потоком пылевидного топлива (Koppers-Totzek, Shell Coal, Gasification Process (SCGP), Prenflo, Siemens, GE Energy, E-Gas, Mitsubishi Heavy Industries (MHI), Eagle) [2, 8, 14].

**Газификация в стационарном слое** – наиболее старый способ производства син-

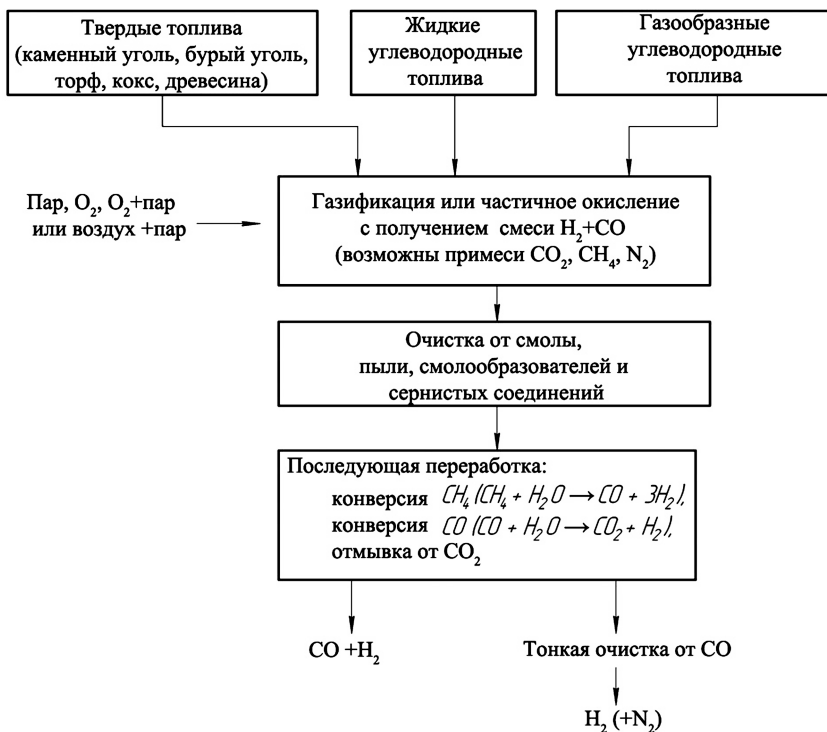


Рис.2. Общая схема производства синтез-газа [2].

тез-газа, разработанный в 1927 г. В реакторе уголь медленно движется вниз под действием силы тяжести и газифицируется потоком окислителя, движущегося противотоком относительно угля. Важной особенностью генератора Лурги является малый расход кислорода и большой расход пара. В реакторы загружают уголь дисперсностью 6–50 мм. Сильноспекающиеся угли, как правило, не используют в данном типе газификаторов. Среднеспекающийся уголь перемешивают с помощью мешалки, охлаждаемой водой (рис.3).

Усовершенствованный вариант реактора Лурги совместно разработан компаниями British Gas и Lurgi на протяжении 1950–1960-х гг. В газификаторе British Gas/Lurgi (BGL) процесс организован таким образом, что зола находится в жидком состоянии. Жидкий шлак собирается в нижней части газогенератора, где он оседает в виде гранул в воде. Гранулы периодически удаляются через шлюзовую емкость. Газогенераторы этого типа характеризуются меньшим расходом пара и кислорода, а также большим выходом продуктов пиролиза по сравнению с газификаторами с сухим удалением золы. Кроме того, содержание в газе  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$  снижается.

**Способ газификации в псевдооживленном или кипящем слое** разработан в 1920-х гг. Этим способом газифицируют преимущественно бурый уголь, хотя в некоторых случаях используют реакционноспособный каменный уголь и кокс. В последнее время появились работы по газификации данным способом городских отходов. Измельченный и подсушенный уголь с высоким содержанием пыли направляют шнеком в псевдооживленный слой газогенератора. Зола выводят снизу через футерованную шахту. Не прореагировавшая пыль захватывается синтез-газом. Для ее утилизации полученный синтез-газ еще раз газифицируют в верхней части реактора, а затем направляют в котел-утилизатор, мультициклон, конденсатор-охладитель и каплеуловитель (рис.4).

Такие газификаторы характеризуются хорошей массо- и теплопередачей вследствие ин-

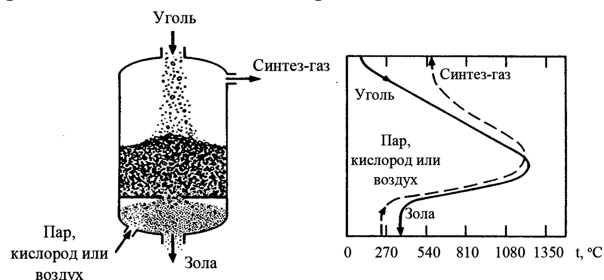


Рис.3. Реакторы со стационарным слоем [8, 14].

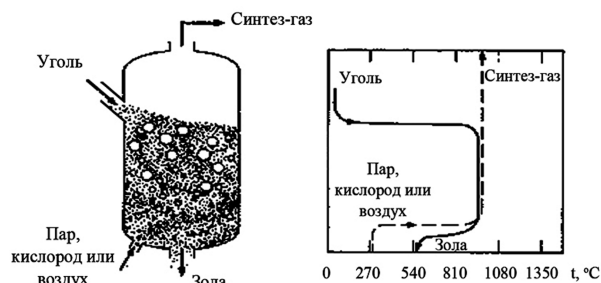


Рис.4. Реактор с кипящим слоем [8, 14].

тенсивного перемешивания. В них возможно газифицировать разный уголь, даже высокозольный и спекающийся. Часть не прореагировавшего угля в виде пыли выносится из реактора синтез-газом, что требует его дополнительной очистки, а другая часть выводится с золой. Это приводит к уменьшению КПД генератора и степени конверсии угля по сравнению с газификацией в стационарном слое. К снижению КПД также приводит необходимость осуществления газификации при сравнительно низких темпера-

**Таблица 2. Параметры наиболее известных процессов газификации [2, 14, 15]**

Параметры	В стационарном слое (Lurgi)	В кипящем слое (Winkler)	В потоке пылевидного топлива (Shell/GE)
Давление, МПа	1–3	0,1	(3–4)/(4–8)
Температура, °С	1200	1100	1600/1600
Температура газа на выходе из газогенератора, °С	675	~ 850	1370/1320
Тип угля	все, кроме коксующихся	низкокачественный	все типы
Размер частиц угля, мм	6–50	0–9,5	(≤ 0,08)/(0–0,5)
Влажность угля, %	до 18	—	до 5/неограничено
Максимальное содержание золы в угле, %	до 40	до 40	до 25
Выход золы	сухой порошок	сухой порошок	расплавленный шлак
CO	18–20	34–36	(65–66)/(55–57)
H <sub>2</sub>	39–41	40–42	(30–32)/(33–35)
CH <sub>4</sub>	10–12	3–4	0,4/< 0,1
CO <sub>2</sub>	28–30	19–20	(1–2)/(10–12)
SO <sub>2</sub>	~ 0,5	~ 0,5	0,4/0,3
N <sub>2</sub> и др.	~ 0,5	1	1/0,6
Соотношение H <sub>2</sub> /CO	2,1	1,25	0,48/0,65
Низшая теплота сгорания, МДж/м <sup>3</sup>	10,9–12,14	11,1	12,5/11,3
КПД газификации, %	> 85	82	(80–83)/(76–77)
Степень конверсии углерода, %	93–99	до 90	> 93/> 99

турах и давлениях вследствие низких температур плавления золы.

**Реакторы с газификацией в потоке пылевидного топлива** (рис.5). Наиболее известные способы газификации этого типа — способ Техасо, или GE, появившийся в 1950-х гг. (сейчас этой технологией обладает фирма General Electric), и способ Shell.

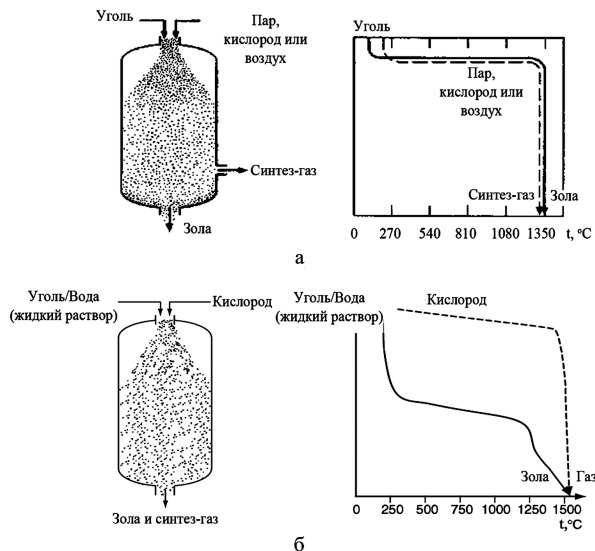


Рис.5. Реакторы с газификацией в потоке пылевидного топлива [6, 13]: а — способ Shell; б — способ GE (Техасо).

В способе GE тонко измельченный уголь смешивают с водой и подают насосом в реактор, работающий под давлением (рис.5, б). Водно-угольная суспензия газифицируется кислородом при температурах 1000–1600 °С и давлении 40–80 бар. Зола, образующаяся вследствие высоких температур, плавится. Ее охлаждают водяным паром, гранулируют и удаляют через шлюз в нижней части реактора.

Преимуществом данного способа является возможность использования в качестве топлива различных видов сырья, в частности, угля, органических веществ, нефти и природного газа. На выходе из газификатора получают чистый, свободный от смол синтез-газ. Эта технология получила преимущественное использование для газификации тяжелого угля и применяется на большинстве IGCC-заводов.

Очевидно, что способ газификации в потоке пылевидного топлива благодаря своим достоинствам имеет наибольшие перспективы применения. Большинство строящихся в мире заводов по производству синтез-газа основаны на этой технологии. На заводах, которые планируется построить в Украине, очевидно, также будет применен этот способ газификации.

Характеристики рассмотренных способов газификации приведены в табл.2.

### Влияние различных факторов на эффективность процессов газификации и производства синтетических моторных топлив

Эффективность процессов конверсии исходного сырья определяется технологическим оборудованием и назначением продуктов газификации. В зависимости от типа газификатора и желаемого состава синтез-газа энергетическая эффективность процесса газификации может изменяться от 76 до 85 % (см. табл.2). Капитальные инвестиционные затраты на заводы по газификации зависят от географического положения завода. В исследовании [16] для оценки затрат на IGCC-завод вводится коэффициент расположения, который для Китая составляет 0,60–0,65 по сравнению с США или Европой.

Результаты исследования влияния качества исходного сырья на эффективность процессов газификации для двух заводов, расположенных в США, приведены в [17]. Здесь уголь газифицируется кислородом под давлением в реакторах со стационарным слоем (BGL), используется уголь различного качества: более качественный битумный и менее качественный суббитумный. Расход угля — 930–1030 т/день (802–1180 ГДж/ч). Технологию удаления и захоронения CO<sub>2</sub> на этих заводах не используют. Анализ данных [17] показывает, что производственные расходы тем меньше, чем более качественный уголь используется: для битумного угля они составляют 15,6 долл./ГДж, для суббитумного угля — 19,3 долл./ГДж.

Синтез-газ непосредственно сжигают в энергетических установках или производят из него рыночные продукты. Параллельное производство с синтез-газом водорода в незначительной степени увеличивает затраты на производство, при этом капитальные затраты увеличиваются на 5 %, а производственные затраты на 4 % [16].

Конверсия синтез-газа в синтетический природный газ SNG требует существенных дополнительных капитальных и производственных затрат: капитальные затраты возрастают примерно на 25 %, производственные на 40 %, а общая эффективность конверсии снижается на 14 % [17].

Применение технологий удаления и захоронения диоксида углерода также увеличивает капитальные затраты. Например, на заводе газификации угля с параллельным производством H<sub>2</sub> капитальные затраты на удаление и захоронение CO<sub>2</sub> составляют около 5 % общих инвестиционных расходов, а общая эффективность газификации снижается на 3 % [16].

## Выводы

Технологии газификации имеют большие перспективы использования в мире и Украине, поскольку обеспечивают производство моторных топлив и сырья для многих отраслей народного хозяйства: транспорт, химическая промышленность, производство тепла и электроэнергии.

Основным сырьем для производства синтез-газа в мире являются уголь, нефть и природный газ. Преимущественное использование на строящихся газификационных заводах получит уголь. В Украине также целесообразно использовать уголь для производства синтез-газа. Перспективными видами сырья для отечественной промышленности могут быть торф, промышленные и городские отходы.

Синтез-газ можно непосредственно сжигать в газовых турбинах на электростанциях, стационарных и мобильных энергетических установках, получать из него синтетические жидкие и газообразные топлива, разнообразные продукты для химической промышленности.

Наиболее перспективный способ газификации — в потоке пылевидного топлива, который реализован в технологиях фирм GE и Shell. Почти все газификационные заводы, которые строятся или планируются, будут использовать данный способ.

В современных газификаторах процессы окисления сырья осуществляются кислородом и паром под давлением 3–8 МПа, что позволяет увеличить выход синтез-газа и повысить КПД газификации. Использование воздуха в качестве окислителя приводит к уменьшению теплоты сгорания синтез-газа, содержания в нем инертных компонентов и необходимости увеличенных габаритов теплообменников, компрессоров и другого оборудования.

Эффективность газификации зависит от используемого оборудования, исходного сырья и назначения конечных продуктов. Производство из синтез-газа синтетических топлив и других рыночных продуктов увеличивает капитальные и производственные затраты, а также уменьшает эффективность конверсии исходного сырья. Применение низкокачественного сырья приводит к увеличению производственных расходов. Капитальные и производственные затраты зависят от местоположения производства, использования технологий очистки от вредных веществ и диоксида углерода.

## Список литературы

1. Звонов В.А. Токсичность двигателей внутреннего сгорания. — М. : Машиностроение, 1981. — 155 с.
2. Калечица И.В. Химические вещества из угля. — М. : Химия, 1980. — 616 с.
3. Караханов Э.А. Синтез-газ как альтернатива нефти. 1. Процесс Фишера-Троппа и онко-синтез // Химия. — 1997. — № 3. — С. 69–74.
4. Янковский Н.А., Макогон Ю.В., Рябчин А.М., Губатенко Н.И. Альтернативы природному газу в Украине в условиях энерго- и ресурсодефицита : Промышленные технологии. — Донецк : ДонНУ, 2011. — 247 с.
5. History and Chronology of Manufactured Gas [Электронный ресурс]: Former manufactured gas plants. — Режим доступа: [http://www.hatheway.net/01\\_history.htm](http://www.hatheway.net/01_history.htm) — 02.11.08 г.
6. Rostrup-Nielsen R. J. Syngas in perspective // Catalysis Today. — 2002. — Vol. 71. — P. 243–247.
7. Worldwide Gasification Database Analysis [Электронный ресурс]: National Energy Technology Laboratory (NETL). — Режим доступа: <http://www.netl.doe.gov/technologies/coalpower/gasification/worlddatabase/summary.html>. — 10.2010 г.
8. Breault W. Ronald. Gasification Processes Old and New : A Basic Review of the Major Technologies // Energies. — 2010. — Vol. 3. — P. 216–240.
9. Терентьев Г.А., Тюков В.М., Смаль Ф.В. Моторные топлива из альтернативных сырьевых ресурсов. — М. : Химия, 1989. — 272 с.
10. Чабанний В.Я., Магопек С.О., Мажейка О.Й., Осипов І.М. Паливо-мастильні матеріали, технічні рідини та системи їх забезпечення. — Кіровоград : Центрально-Українське видавництво, 2008. — 353 с.
11. Фомина О. Торфонедоработка [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.uaenergy.com.ua/post/7176> — 08.02.11 г.
12. BP Statistical Review of World Energy June 2011. — London : BP Statistical Review, 2011. — 45 p.
13. Степанов С.Г. Тенденции развития и новые инженерные решения в газификации угля // Уголь. — 2002. — № 11. — С. 87–92.
14. Chris Higman and Maarten vander Burg. Gasification. — USA : Elsevier Science, 2003. — 391 p.
15. Халатов А.А., Борисов И.И., Кобзарь С.Г. Сжигание и газификация альтернативных топлив // Пром. теплотехника. — 2006. — № 4. — С. 53–63.
16. Syngas Production from Coal [Электронный ресурс]. Energy technology systems analysis programme (IEA ETSAP — Technology Brief) — Режим доступа: [http://iea-etsap.org/web/Highlights%20PDF/P05-Coal%20gasification-GS-gct-AD\\_gs%201.pdf](http://iea-etsap.org/web/Highlights%20PDF/P05-Coal%20gasification-GS-gct-AD_gs%201.pdf) — May 2010.
17. Leonard M., Barton Jr. Industrial Size Gasification for Syngas, Substitute Natural Gas and Power Production. — DOE/NETL-401, April 2007. — 921 p.

Поступила в редакцию 07.06.13



**Марченко А.П.,** докт. техн. наук,  
**Осетров О.О.,** канд. техн. наук, **Кравченко С.С.,** аспірант

**Національний технічний університет «ХПІ», Харків**  
вул. Фрунзе, 21, 61002 Харків, Україна, e-mail: dvs@kpi.kharkov.ua

## **Проблеми та перспективи виробництва синтетичних газових палив (Огляд)**

Розглянуто проблеми та перспективи виробництва синтетичних газових палив у світі та в Україні. Проаналізовано сучасний стан проблеми, сировинну базу для виробництва синтез-газу, процеси та технології його отримання, перспективні способи газифікації, вплив різних факторів на ефективність процесів газифікації та виробництва синтетичних палив. Показано, що технології газифікації інтенсивно розвиваються та використовуються у процесах тепло- та електропостачання, виробництва моторних палив, водню, метанолу, синтетичного природного газу та великої кількості інших товарних продуктів. Найбільш перспективними видами сировини для виробництва синтез-газу в Україні є вугілля, торф, промислові та міські відходи. Розглянуто особливості та перспективи різних способів газифікації, зокрема технологій фірм BGL, HTW, GE, Shell та ін. Особливу увагу приділено питанням ефективності процесів та технологій на різних етапах виробництва синтез-газу та синтетичних палив. *Бібл. 17, рис. 5, табл. 2.*

**Ключові слова:** альтернативне паливо, синтез-газ, сировинна база, процес газифікації, виробничі витрати.

**Marchenko A.P.,** Doctor of Technical Science,  
**Osetrov A.A.,** Candidate of Technical Science,  
**Kravchenko S.S.,** PhD Student

**National Technical University «Kharkov Polytechnic Institute», Kharkov**  
21, Frunze Str., 61002 Kharkov, Ukraine, e-mail: dv@skpi.kharkov.ua

## **The Problems and Prospects of Synthetic Gas Fuels Production (Review)**

The problems and prospects of production of synthetic gas fuel in the world and Ukraine is considered. Modern condition of the problem, raw materials for the production of syn-gas, process and technology of its receipt, perspective methods of gasification, the influence of various factors on the efficiency of the gasification process and the production of synthetic fuels is analyzed. It is shown that gasification technology is developed and used extensively in the process of heat and electricity supply, the production of motor fuels, hydrogen, methanol, synthetic natural gas, and large number of other commodity products. The most promising raw materials for the production of syn-gas in Ukraine are coal, peat, industrial and municipal waste. Peculiar features and perspectives of various methods of gasification, particularly technology developed by BGL, HTW, GE, Shell, etc. firms is considered. Special attention is devoted to the efficiency of processes and technologies at different stages of the production of syn-gas and synthetic fuels. *Bibl. 17, Fig. 5, Table 2.*

**Key words:** alternative fuels, synthesis gas, raw materials, the gasification process, costs.

## References

1. Zvonov V.A. (1981). Toxicity of internal combustion engines. Moscow : Mashinostroenie, 155 p. (Rus.)
2. Kalechica I.V. (1980). Chemicals from coal. Moscow: Himija, 616 p. (Rus.)
3. Karahanov Je.A. (1997). Synthesis gas as an alternative to oil. 1. The Fischer-Tropsch synthesis and oncology. *Himija*, (3), pp. 69–74. (Rus.)
4. Jankovskij N.A., Makogon Ju.V., Rjabchin A.M., Gubatenko N.I. (2011). Alternative to natural gas in Ukraine in terms of energy and resursodefitsita : Industrial Technology. Donetsk : Doneckiy Nacionalny Universitet, 247 p. (Rus.)
5. History and Chronology of Manufactured Gas [Electron resource]: Former manufactured gas plants. — Mode of access: [http://www.hatheway.net/01\\_history.htm](http://www.hatheway.net/01_history.htm) — 02.11.08.
6. Rostrup-Nielsen R. Jens. (2002). Syngas in perspective. *Catalysis Today*, 71, pp. 243–247.
7. Worldwide Gasification Database Analysis [Electron resource]: National Energy Technology Laboratory (NETL). — Mode of access: <http://www.netl.doe.gov/technologies/coalpower/gasification/worlddatabase/summary.html>. — 10.2010.
8. Breault W. Ronald (2010). Gasification Processes Old and New : A Basic Review of the Major Technologies. *Energies*, 3, pp. 216–240.
9. Terent'ev G.A., Tjukov V.M., Smal' F.V. (1989). Motor fuels from alternative raw materials. Moscow : Himija, 272 p. (Rus.)
10. Chabannij V.Ja., Magopec' S.O., Mazhejka O.J., Osipov I.M. (2008). Fuel and lubricants, fluids and technical systems to support them. Kirovograd : Central'no-Ukrains'ke vidavnicтво, 353 p. (Ukr.)
11. Fomina O. Peat not rework [Electron resource]. — Access mode: <http://www.uaenergy.com.ua/post/7176> — 08.02.11. (Rus.)
12. BP Statistical Review of World Energy June 2011. — London : BP Statistical Review, 2011, 45 p.
13. Stepanov S.G. (2002). Developments and new engineering solutions to coal gasification, *Ugol'*, (11), pp. 87–92. (Rus.)
14. Higman Shris and Maarten van der Burg. Gasification. — USA : Elsevier Science, 2003. — 391 p.
15. Halatov A.A., Borisov I.I., Kobzar S.G. (2006). Combustion and gasification of alternative fuels, *Promyshlennaja teplotehnika*, (4), pp. 53–63. (Rus.)
16. Syngas Production from Coal [Electron resource]: Energy technology systems analysis programme (IEA ETSAP — Technology Brief). — Mode of access: [http://iea-etsap.org/web/Highlights%20PDF/P05-Coal%20gasification-GS-gct-AD\\_gs%201.pdf](http://iea-etsap.org/web/Highlights%20PDF/P05-Coal%20gasification-GS-gct-AD_gs%201.pdf) — May 2010.
17. Leonard M., Barton Jr. (2007). Industrial Size Gasification for Syngas, Substitute Natural Gas and Power Production. — DOE/NETL-401, April 2007, 921 p.

Received June 7, 2013

---

**Подписывайтесь на журнал  
«Энерготехнологии и ресурсосбережение» (индекс 74546)  
на 2014 г. по Сводному Каталогу агентства  
«УКРИНФОРМНАУКА»**

По вопросам организации подписки обращайтесь по адресам:

**в Украине**

**Агентство «Укринформнаука»**  
ул. Владимирская, 54, комн. 144  
Киев-30, 01601  
тел. / факс +38 (044) 239-64-57  
моб. +38 (050) 154-77-83  
e-mail: [innovationnas.gov.ua](mailto:innovationnas.gov.ua)

**в России**

**Компания «Информнаука»**  
вед. специалист  
Перова Ольга Александровна  
тел.: 8(495) 787 38 73  
факс: 8(499) 152 54 81  
e-mail: [perovaviniti.ru](mailto:perovaviniti.ru)