

# Энергосберегающие технологии

УДК 662.65:662.763:621.387.14

**Колесник В.В.**, канд. техн. наук, **Орлик В.Н.**, канд. техн. наук,  
**Жовтянский В.А.**, чл.-корр. НАНУ, докт. физ.-мат. наук, **Невзгляд И.О.**

**Институт газа НАН Украины, Киев**

ул. Дегтяревская, 39, 03113 Киев, Украина, e-mail: kolesnyk@email.ua

## Термодинамические основы конверсии углерода для получения синтез-газа заданного состава с применением плазменных технологий

Рассмотрены вопросы интенсификации процессов производства альтернативных газовых топлив на основе конверсии углеродсодержащего сырья в процессах газификации некондиционных топлив, биомассы, утилизации твердых бытовых отходов, обезвреживания опасных отходов. Показано, что значительные преимущества в этой связи имеет применение плазменных технологий. На основе термодинамического подхода проанализированы вопросы применения для интенсификации энергос затратных технологических процессов производства альтернативных газовых топлив плазменной струи, генерируемой плазмотроном. Интенсификации процесса способствует непосредственное введение необходимой дополнительной энергии в реакционную зону. При этом эффективно решается также задача инициации начала реакции за счет быстрого повышения температуры реакционной смеси до необходимого уровня. Рассмотрены разные технологические схемы для оптимальной реализации процесса в зависимости от состава плазмообразующего газа. При этом учтены требования, связанные с исключением образования сажи, диоксинов и фуранов. *Библ. 10, рис. 6.*

**Ключевые слова:** углеродсодержащее сырье, конверсия, альтернативные топлива, синтез-газ, плазмотрон, пароплазменная струя, реактор.

Одно из современных направлений интенсификации энергос затратных технологических процессов предполагает введение необходимой для их поддержания энергии непосредственно в реакционную зону. Интенсификация достигается, в первую очередь, за счет исключения тормозящего влияния на процесс теплопередачи стенки, отделяющей реакционную зону от дополнительного источника энергии в случае использования технологий рекуперативного под-

вода тепла. Одновременно непосредственный подвод тепла позволяет поддерживать в реакционной зоне гораздо более высокую температуру, которая может быть недопустимой вследствие конструктивных ограничений при подводе тепла через стенку.

Такая организация подвода тепла содействует также уменьшению общих энергетических затрат, поскольку исключается необходимость применения промежуточного теплоносителя с

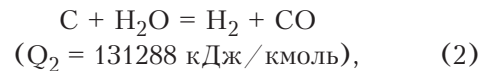
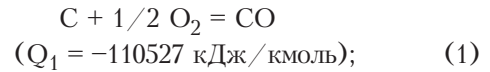
температурой, превышающей температуру реакционной зоны. Тем не менее, она является достаточной для создания температурного напора, необходимого для образования теплового потока с требуемой плотностью накопленной энергии, которая должна транспортироваться в реакционную зону. При этом все подведенное тепло используется для проведения процессов в реакционном объеме, а задача утилизации тепла сопряжена только с уходящими продуктами реакции.

Одним из способов непосредственного подвода тепла в реакционную зону является использование высокоэнтальпийной струи низкотемпературной плазмы. При этом, кроме задачи подвода тепла, эффективно решается задача инициации начала реакции вследствие быстрого повышения температуры реакционной смеси до необходимого уровня.

В научной литературе в последние годы активно обсуждаются преимущества и различные варианты реализации установок для производства альтернативных газовых топлив на основе конверсии углеродсодержащего сырья в процессах газификации некондиционных топлив и биомассы, утилизации твердых бытовых отходов, обезвреживания опасных отходов (например, медицинских) с применением плазменных технологий [1–6]. К задачам, которые можно решать с помощью плазменной технологии, относится конверсия углеродсодержащего сырья с использованием паровоздушной смеси, являющейся одновременно реагентом и плазмообразующим агентом. Изменение соотношения водяной пар/воздух позволяет получать продукты реакции с разными соотношениями монооксида углерода и водорода. Для целей конверсии можно использовать чистый углерод и углерод с различными минеральными примесями. В последнем случае, кроме ограничений, которые надо учитывать в общем случае (о них будет идти речь ниже), следует учитывать температуры фазовых переходов отдельных примесей.

В работе [6] с применением методов термодинамического анализа рассмотрены общие вопросы, связанные с использованием низкотемпературной плазменной струи для указанных целей. В частности, представлены зависимость ее химического состава, теплофизических показателей и расхода от температуры, мощности плазматрона и соотношения компонентов водяной пар/воздух (естественный или обогащенный кислородом) в плазмообразующей смеси. Показано, что вопреки бытующему мнению пароплазменные технологии конверсии углеродсодержащего сырья по энергетической эффективности могут превосходить парокислородные, являющиеся их ближайшими конкурентами.

Рассмотрим некоторые варианты конверсии углерода с помощью плазменной струи, вводимой в реакционную зону с целью получения синтез-газа (смесь  $H_2$  и  $CO$ ). Согласно реакциям, преобладающим при температуре  $1100^\circ C$ , характерной для технологий газификации углеродсодержащего сырья [6, 7]:



расход перерабатываемого углерода должен составлять

$$G_C = 3/4 G_{O_2} + 2/3 G_{H_2O}, \quad (3)$$

где  $G_{O_2}$ ,  $G_{H_2O}$  — массовые расходы кислорода и воды, входящих в состав плазмообразующего агента.

Поскольку первая реакция экзотермическая, а вторая эндотермическая, то в зависимости от начального соотношения кислорода и воды проведение конверсии предполагает подведение того или иного количества дополнительной энергии.

Исходные данные для последующего термодинамического анализа определяются следующим образом. Если массовые концентрации кислорода и азота в плазмообразующем воздухе составляют  $Z_{O_2}$ ,  $Z_{N_2} = 1 - Z_{O_2}$ , а доля паров воды в общем потоке равняется  $\gamma$ , то концентрации компонентов плазменной струи могут быть представлены таким образом:

$$Y_{H_2O} = \gamma; Y_{O_2} = (1 - \gamma) Z_{O_2}; Y_{N_2} = (1 - \gamma) Z_{N_2}.$$

Для конверсии углерода согласно соотношению (3) расход плазмы  $\alpha$  в потоке, поступающем в реакционный объем, определяется из соотношения

$$\alpha = 1 / (1 + 3/4 Y_{O_2} + 2/3 Y_{H_2O}),$$

а концентрации компонентов составляют

$$X_C = \alpha (3/4 Y_{O_2} + 2/3 Y_{H_2O});$$

$$X_{H_2O} = \alpha Y_{H_2O}; X_{O_2} = \alpha Y_{O_2}; X_{N_2} = \alpha Y_{N_2}.$$

Если исходная температура сухого воздуха и углерода равна  $20^\circ C$ , а водяного пара  $100^\circ C$  (причем его удельная энтальпия составляет  $i_{H_2O} = -13282,5 \text{ кДж/кг}$ ), то полную энтальпию входного потока можно представить так:

$$I_{вх} = i_{H_2O} X_{H_2O}$$

(входными энтальпиями сухого воздуха и углерода пренебрегаем из-за их малости).

Термодинамический расчет позволяет определить значение расхода общего потока перерабатываемого сырья  $G_{\text{сум}}$  (кг/с) с концентрацией составляющих  $X_C, X_{\text{H}_2\text{O}}, X_{\text{O}_2}, X_{\text{N}_2}$ , который может быть переработан при заданной температуре  $t_R$  на выходе из реакционного объема с использованием плазмотрона мощностью  $W$  (кВт). Действительно, если при температуре  $t$  полная энтальпия продуктов переработки составляет  $I(t)$ , то

$$G_{\text{сум}} = W / [I(t) - I_{\text{вх}}].$$

Этому количеству отвечает суммарный расход плазмообразующих компонентов

$$G_{\text{пл}} = \alpha G_{\text{сум}}.$$

Результаты расчетов параметров плазменной струи с концентрациями компонентов  $Y_{\text{H}_2\text{O}}, Y_{\text{O}_2}, Y_{\text{N}_2}$  позволяют определить температуру  $t_{\text{пл}}$  на выходе плазмотрона в зависимости от его удельной нагрузки  $\eta = W / G_{\text{пл}}$ .

В качестве примера на рис.1 показана зависимость температуры плазменной струи от удельной нагрузки для разных соотношений водяного пара и атмосферного воздуха ( $Z_{\text{O}_2} = 0,23$ ), используемых в качестве плазмообразующих агентов. Та же картина наблюдается в случае использования обогащенного кислородом воздуха.

Выбор конструктивной схемы плазменной конверсии и технологических параметров зависит от ряда условий и ограничений. Некоторые из них можно сформулировать уже на уровне термодинамических расчетов. Во-первых, температура на выходе из реакционного объема  $t_R$  должна быть не меньше такой температуры  $t^*$ , при которой концентрация остаточного конденсированного углерода становится практически

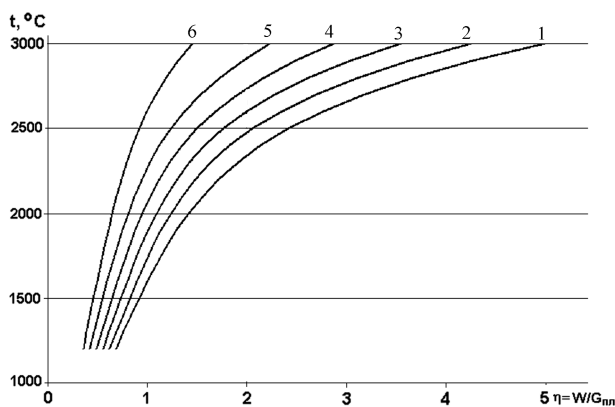


Рис.1. Зависимость температуры плазменной струи  $t$  от удельной нагрузки для разных соотношений  $\eta$  водяного пара и атмосферного воздуха ( $Z_{\text{O}_2} = 0,23$ ): 1 — 1,0; 2 — 0,8; 3 — 0,6; 4 — 0,4; 5 — 0,2; 6 — 0,0.

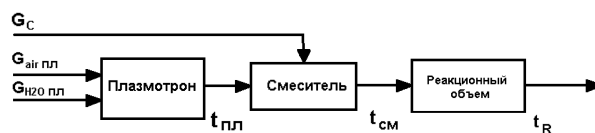


Рис.2. Одноступенчатая технологическая схема конверсии углерода с применением плазменных технологий.

нулевой ( $\approx 10^{-10}$ ). Во-вторых, из условия устойчивой работы плазмотрона удельная нагрузка на плазмотрон  $\eta$  должна находиться в определенных границах, а именно:  $2 < \eta < 7$ . При этом нижняя граница отвечает максимально допустимой нагрузке с получением плазменной струи с наиболее низкой температурой. При этом, как следует из рис.1, рабочая область изменения температуры плазменной струи при разных удельных нагрузках лежит правее вертикальной прямой, соответствующей минимальному значению  $\eta = 2$ . В-третьих, необходимо иметь такую температуру после смешивания плазменной струи с обрабатываемым сырьем, чтобы гарантировать достаточную начальную скорость протекания конверсии с учетом кинетики соответствующих реакций.

Условия, которые являются существенными при конструктивном оформлении процесса и нуждаются в учете дополнительных составляющих, на данном этапе не рассматриваются или учитываются опосредованно, в частности, кинетика процессов, стойкость материалов, габаритные и стоимостные ограничения, допустимые значения температур в отдельных точках технологической схемы, минимально необходимое время пребывания реагентов в реакционном объеме для достижения равновесия и т.п.

Расчеты показывают, что при изменении соотношения  $\gamma$  для массовых долей водяной пар/воздух газифицирующего агента в диапазоне от 10/0 до 7/3 конверсия углерода на основе плазменных технологий может осуществляться по простой схеме, схематически представленной на рис.2.

Это относится и к атмосферному воздуху, и к обогащенному кислородом воздуху, массовая доля кислорода в котором составляет 0,55. В указанном диапазоне удовлетворяется второе условие для удельной нагрузки плазмотрона; при этом температура  $t_R$  на выходе из реакционного объема и общая нагрузка определяются таким образом, чтобы исключить образование конденсированного углерода в продуктах реакции (то есть  $t_R > t^*$ , согласно первому условию). Исключение сажеобразования является важным фактором борьбы с образованием диоксинов и фуранов, так как оно происходит наиболее активно именно на твердых частицах в результате гетерогенных каталитических процессов [8–10]. При расчетах определяется так-

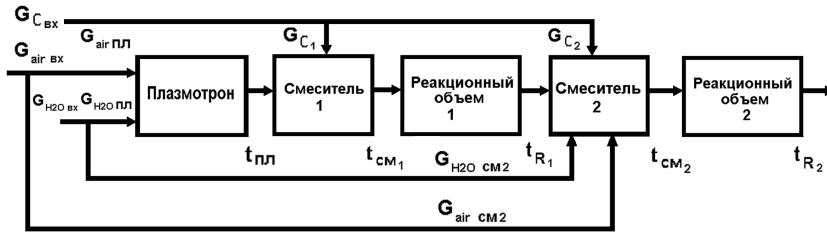


Рис.3. Двухступенчатая технологическая схема конверсии углерода с применением плазменных технологий.

же температура смеси  $t_{см}$ , устанавливающаяся после смешивания плазменной струи с углеродсодержащим сырьем на входе в реакционный объем. Представленный на рис.2 узел смесителя носит несколько условный, иллюстративный, характер; фактически он совмещен с реакционным объемом.

Дальнейшее увеличение доли воздуха в плазмообразующей смеси, когда  $\gamma < 7/3$ , увеличивает долю тепла экзотермической реакции в общем энергетическом балансе процесса конверсии и, следовательно, снижает требования относительно привлечения дополнительной энергии, которая должна поступать с плазменной струей. Это делает невозможным поддержание удельной нагрузки плазмотрона на минимальном уровне при использовании простой схемы, представленной на рис.1. В связи с этим может быть рассмотрен вариант двухступенчатой схемы, схематично изображенной на рис.3. Она тоже носит условный характер и в конструктивном отношении может представлять собой различные зоны реакторного объема. В приведенной схеме расход паров воды  $G_{H2O\ пл}$ , воздуха  $G_{air\ пл}$  и углерода  $G_{C1}$  на первую ступень, которая состоит из плазмотрона, смесителя 1 и реакционного объема 1, рассчитывается из условия минимальной нагрузки на плазмотрон и соблюдения соотношения (3) для заданного  $\gamma$ . При этом температура на выходе из первого реакционного объема  $t_{R1}$  превышает  $t^*$ .

Остальные компоненты — пары воды  $G_{H2O\ см2}$ , воздух  $G_{air\ см2}$  и углерод  $G_{C2}$  — подаются в смеситель 2, где после смешивания с исходными продуктами из реакционного объема 1, имеющими температуру  $t_{R1}$ , образуют смесь, которая с температурой  $t_{см2}$  поступает в реакционный объем 2. Величины этих расходов определяются из соотношений

$$G_{H2O\ см2} = G_{H2O\ vx} - G_{H2O\ пл};$$

$$G_{air\ см2} = G_{air\ vx} - G_{air\ пл};$$

$$G_{C2} = G_{C\ vx} - G_{C1}.$$

При этом соотношение расхода водяного пара/воздуха ( $G_{H2O\ vx}/G_{air\ vx}$ ) соответствует

$\gamma$ , расход  $G_{C\ vx}$  рассчитывается согласно (3), а общий расход  $G_{vx} = G_{H2O\ vx} + G_{пов\ vx} + G_{C\ vx}$  определяется по результату термодинамического расчета общего энергетического баланса для схемы в целом, содержащей плазмотрон мощностью  $W$  с такой температурой выходного потока, которая обеспечивает полную конверсию углерода,

то есть выполнение первого условия для схемы в целом. Это температура  $t_{R2}$  на выходе из реакционного объема 2.

Результаты расчетов при разных соотношениях водяной пар/воздух для атмосферного воздуха ( $Z_{O2} = 0,23$ ) и для воздуха, обогащенного кислородом ( $Z_{O2} = 0,55$ ), приведены на рис.4–6. В качестве базовой рассматривается двухступенчатая технологическая схема с плазмотроном мощностью  $W = 100$  кВт.

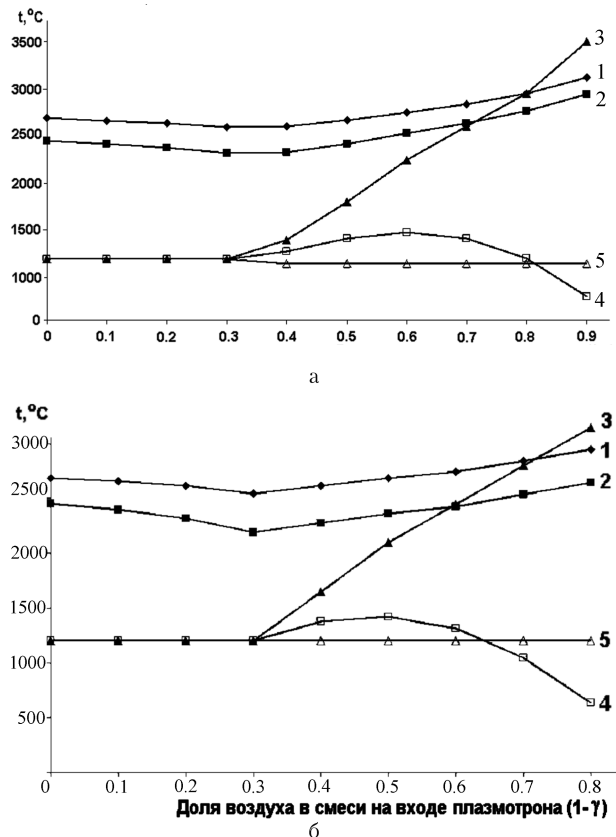


Рис.4. Зависимость расчетных температур процесса конверсии в основных узлах технологической схемы в зависимости от доли атмосферного воздуха (а) и воздуха, обогащенного кислородом (б), на входе плазмотрона: 1 — плазменной струи ( $t_{пл}$ ); 2 — после смесителя 1 ( $t_{см1}$ ); 3 — после реактора 1 ( $t_{R1}$ ); 4 — после смесителя 2 ( $t_{см2}$ ); 5 — после реактора 2 ( $t_{R2}$ ).

Для случая возможности реализации процесса по схеме одноступенчатой конверсии имеют место следующие соотношения, обеспечивающие соответствие между обозначениями на рис.2 и на рис.3:  $G_{H_2O_{cm2}} = G_{air_{cm2}} = G_{C2} = 0$ ;  $G_{H_2O_{вх}} = G_{H_2O_{пл}}$ ;  $G_{air_{вх}} = G_{air_{пл}}$ ;  $G_{C_{вх}} = G_{C1} = G_C$ ;  $t_{cm1} = t_{cm}$ ;  $t_{R1} = t_{cm2} = t_{R2} = t_R$ .

Нетрудно заключить, что энергетический баланс между экзотермической реакцией (1) и эндотермической (2) будет достигнут, если соблюдается следующее соотношение между расходом кислорода и воды:

$$\beta = G_{O_2}/G_{H_2O} = (-Q_2/Q_1) \times (0,5 m_{O_2}/m_{H_2O}) = 1,0559,$$

где  $m_{O_2}$ ,  $m_{H_2O}$  — соответствующие молекулярные массы,  $m_{O_2} = 32$ ,  $m_{H_2O} = 18$ .

Следовательно, такой баланс будет иметь место при  $\gamma^* = Z_{O_2}/(Z_{O_2} + \beta)$ , то есть:

$$\gamma^* = 0,1789 \text{ при } Z_{O_2} = 0,23;$$

$$\gamma^* = 0,3425 \text{ при } Z_{O_2} = 0,55.$$

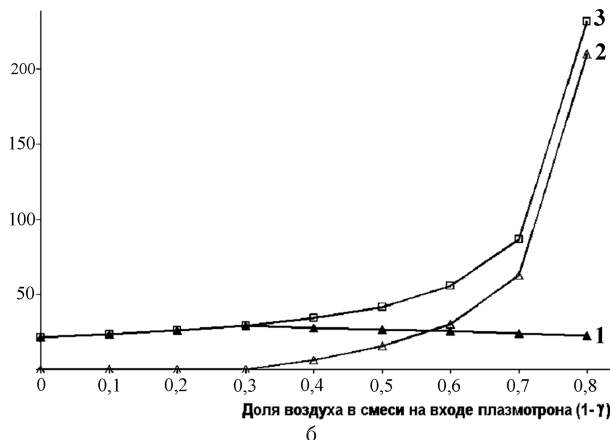
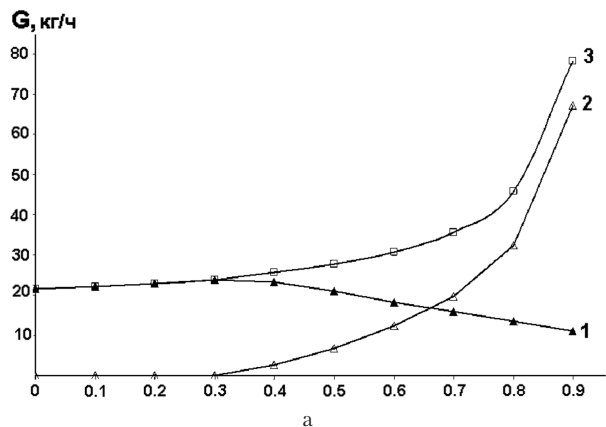


Рис.5. Зависимость расхода углерода в процессе его конверсии от доли атмосферного воздуха (а) и воздуха, обогащенного кислородом (б), на входе плазматрона: 1 — расход углерода в реактор 1 ( $G_{C1}$ ); 2 — расход углерода в реактор 2 ( $G_{C2}$ ); 3 — общий расход углерода ( $G_{C1_{вх}}$ ).

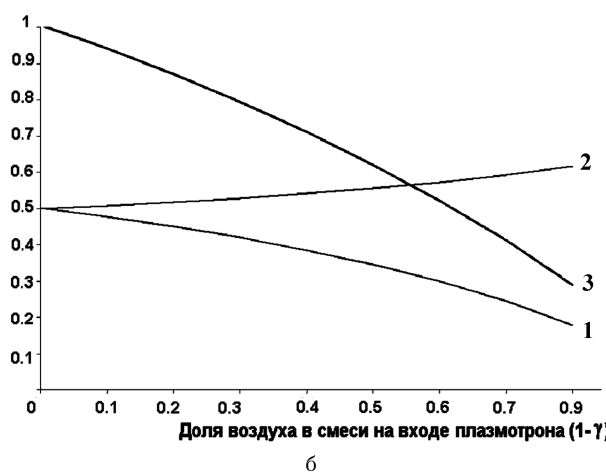
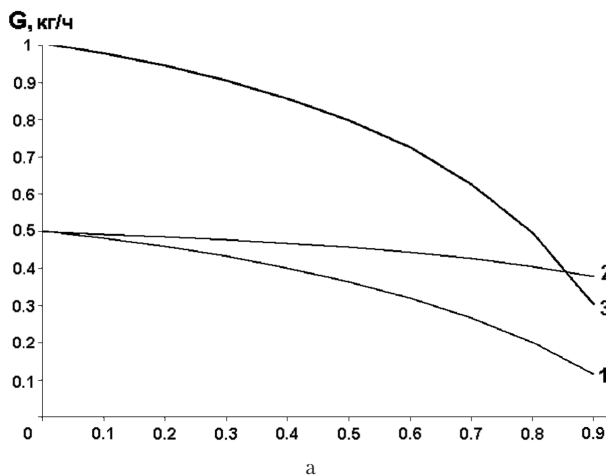


Рис.6. Зависимость состава продуктов конверсии от доли атмосферного воздуха (а) и воздуха, обогащенного кислородом, (б) на входе плазматрона: 1 — мольная доля  $H_2$ ; 2 — мольная доля  $CO$ ; 3 — соотношение объемов  $H_2$  и  $CO$  ( $V_{H_2}/V_{CO}$ ).

Эти значения практически совпадают со значениями доли воздуха в смеси на входе плазматрона ( $1-\gamma^*$ ), при которых на рис.4 кривая для  $t_{cm2}$  пересекает кривую для  $t_{R2}$ . Для атмосферного воздуха при  $Z_{O_2} = 0,23$  его предельная доля — 0,8211, а для воздуха, обогащенного кислородом, при  $Z_{O_2} = 0,55$  она составляет 0,6575.

В этом случае температуры входного и исходящего потока в реакционном объеме 2 совпадают, а энергия, подводимая плазматроном, обеспечивает проведение реакции именно при избранной температуре  $t_{R2}$ .

При  $\gamma < \gamma^*$  вследствие увеличения содержания кислорода суммарный процесс паровоздушной конверсии становится экзотермическим, за счет чего температура на выходе из реакционного объема  $t_{R2}$  превышает входную  $t_{cm2}$ . Выполненный термодинамический анализ показал, что при  $\gamma < 0,1$  для  $Z_{O_2} = 0,23$  и  $\gamma < 0,2$  для



$Z_{O_2} = 0,55$  проведение конверсии по схеме на рис.3 с соответствующими условиями становится невозможной и нуждается в другом технологическом решении.

Аналогичный анализ может быть осуществлен также в случае использования угля или иного углеродсодержащего сырья, которые, кроме собственно углерода, содержат различные минеральные примеси. В последнем случае могут появиться дополнительные температурные ограничения, вытекающие из тех или иных требований к фазовому состоянию этих примесей на разных этапах процесса конверсии.

Как видно из рис.6, конверсия углерода с применением плазменных технологий дает возможность достаточно просто варьировать в широком диапазоне соотношения объемов производства водорода и монооксида углерода, а также их абсолютные объемные доли в продуктах реакции. Это может быть весьма существенным при использовании их смеси как сырья для разного рода промышленных процессов, в частности, химического синтеза.

### Выводы

Обоснована перспективность использования низкотемпературной плазменной струи для получения синтез-газа заданного состава из углеродсодержащих веществ.

Главными достоинствами предлагаемой технологии являются непосредственный подвод тепла в реакционную зону и использование плазмообразующего газа в качестве химически реагирующей смеси.

Простое изменение состава последней позволяет получить продукты реакции с требуемым соотношением монооксид углерода/водород, что весьма существенно при использовании синтез-газа как сырья для разного рода промышленных процессов, в частности, процессов химического синтеза.

Предложены технологические схемы плазменной конверсии углеродсодержащих материалов для оптимальной реализации процесса в зависимости от состава плазмообразующего газа и исходного сырья.

*Выполнение данной работы поддержано Национальной академией наук Украины (проект 12-12 НАНУ).*

### Список литературы

1. Патон Б.Е., Чернец А.В., Маринский Г.С. и др. Перспективы применения плазменных технологий для уничтожения и переработки медицинских и других опасных отходов. Ч. I, II // *Соврем. электрометаллургия*. — 2005. — № 3. — С. 54–63; № 4. — С. 52–60.
2. Жовтянский В.А. Электрическая дуга — основа теплотехнических применений плазмы. I. Общие свойства электродуговой плазмы и особенности процессов теплопереноса // *Пром. теплотехника*. — 2007. — Т. 29, № 4. — С. 13–22.
3. Патон Б.Е., Бондаренко Б.И., Жовтянский В.А. Новый источник возобновляемой энергии — твердые бытовые отходы // *Проблемы розвитку енергетики : Погляд громадськості*. — Київ : Наук-техн. спілка енергетиків та електротехніків України, 2009. — С. 249–253.
4. Chernets O.V., Korzhyk V.M., Marynsky G.S. et al. Electric arc steam plasma conversion of medicine waste and carbon containing materials // XVII Intern. Conf. on Gas Discharges and Their Applications, Cardiff, Wales, 7–12 Sept., 2008. *Proceedings* / Ed. J.E.Jones. — Cardiff : Cardiff University, 2008. — P. 465–468.
5. Жовтянский В.А. Разработки Института газа НАН Украины в области плазменных технологий и оборудования // *Энерготехнологии и ресурсосбережение*. — 2009. — № 4. — С. 97–108.
6. Жовтянский В.А., Петров С.В., Колесник В.В. и др. Конверсия углеродсодержащего сырья с применением плазменных технологий // *Там же*. — 2012. — № 5. — С. 15–32.
7. Шиллинг Г., Бонн Б., Краус У. Газификация угля. — М. : Недра, 1986. — 175 с.
8. Герасимов Г.Я. Образование диоксинов при сжигании хлорсодержащих топлив // *Физика горения и взрыва*. — 2001. — Т. 37, № 2. — С. 29–34.
9. Колесник В.В., Орлик В.Н., Олейник С. Ю., Россоха А.В. Термодинамический анализ процессов образования диоксинов // *Укр. хим. журн.* — 2008. — Т. 74, № 12. — С. 78–82.
10. Колесник В.В., Орлик В.Н., Олейник С.Ю., Россоха А.В. Термодинамический анализ процессов образования фуранов // *Там же*. — 2009. — Т. 75, № 9–10. — С. 99–102.

Поступила в редакцию 12.02.13

**Колесник В.В.**, канд. техн. наук, **Орлик В.М.**, канд. техн. наук,  
**Жовтянський В.А.**, чл.-кор. НАНУ, докт. фіз.-мат. наук, **Невзгляд І.О.**

**Інститут газу НАН України, Київ**

вул. Дегтярівська, 39, 03113 Київ, Україна, e-mail: kolesnyk@email.ua

## **Термодинамічні основи конверсії вуглецю для отримання синтез-газу заданого складу із застосуванням плазмових технологій**

Розглянуто питання інтенсифікації процесів виробництва альтернативних газових палив на основі конверсії вуглецевмісної сировини у процесах газифікації некондиційних палив, біомаси, утилізації твердих побутових відходів, знешкодження небезпечних відходів. Показано, що значні переваги у цьому зв'язку мають плазмові технології. На основі термодинамічного підходу проаналізовано питання застосування, для інтенсифікації енерговитратних технологічних процесів виробництва альтернативних газових палив. Інтенсифікації процесу сприяє безпосереднє введення необхідної додаткової енергії в реакційну зону. При цьому ефективно вирішується також задача ініціації початку реакції за рахунок швидкого підвищення температури реакційної суміші до необхідного рівня. Розглянуто різні технологічні схеми для оптимальної реалізації процесу в залежності від складу плазموутворюючого газу. При цьому враховані вимоги, пов'язані з виключенням утворення сажі, діоксинів та фуранів. *Бібл. 10, рис. 6.*

**Ключові слова:** вуглецевмісна сировина, конверсія, альтернативні палива, синтез-газ, плазмотрон, пароплазмовий струмінь, реактор.

**Kolesnyk V.V.**, Candidate of Technical Science, **Orlyk V.M.**, Candidate of Technical Science, **Zhovtyansky V.A.**, Corresponding Member of NASU, **Nevezgliad I.O.**

**The Gas Institute of National Academy of Science of Ukraine, Kiev**

39, Degtjarivska Str., 03113 Kiev, Ukraine, e-mail: kolesnyk@email.ua

## **Thermodynamics Bases of Carbon Conversion for Obtaining Synthesis Gas of Required Composition with the Use of Plasma Technologies**

The problems of intensification of the alternative gaseous fuels production based on the conversion of carbonaceous raw using the plasma technology are discussed. The processes of gasification of sub-standard fuels as well as biomass, utilization of solid waste and disposal of hazardous waste are taking into account. It is shown that considerable advantages in this regard have plasma technology. The questions of intensification of high energy consumption processes of alternative gaseous fuels production with plasma torch jet are analyzed on the basis of thermodynamic approach. The intensification of the process is achieved due to direct input of the required additional energy into the reaction zone. The problem of reactions initiations is efficiently solved simultaneously due to the rapid increasing of mixture temperature up to the necessary level. The various technological schemes for optimal implementation of the process are discussed, depending on the composition of plasma forming gas. The requirements for the exception of soot as well as dioxins and furans formation are taken into account. *Bibl. 10, Fig. 6.*

**Key words:** carbon-containing raw, conversion, alternative fuels, synthesis gas, plasma torch, plasma steam jet, the reactor.

## References

1. Paton B.E., Chernec A.V., Marinsky G.S., Korzhik V.N., Petrov S.V. (2005). Application prospects of plasma technologies for destruction and treatment of medical and other hazardous waste. Pt. I, II. *Sovremennaja elektrometallurgija [Modern electro-metallurgy]*, (3), pp. 54–63; (4), pp. 52–60. (Rus.)
2. Zhovtyansky V.A. (2007). Electric arc is plasma thermotechnical application basis. Pt. I. General properties of electric arc plasma and heat transfer processes features. *Promyshlennaja teplotehnika [Industrial heat engineering]*, 29 (4), pp. 13–22. (Rus.)
3. Paton B.E., Bondarenko B.I., Zhovtyansky V.A. (2009). A new source of renewable energy is solid domestic waste. *Problemy rozvytku enerhytyky : Pogljad gromads'kosti [Problems of power engineering development : Social look]*. — Kiev : Naukovo-tehnichna spilka enerhytykiv ta elektrotehnikiv Ukrainy, pp. 249–253. (Rus.)
4. Chernets O.V., Korzyk V.M., Marynsky G.S. (2008). Electric arc steam plasma conversion of medicine waste and carbon containing materials // XVII Intern. Conf. on Gas Discharges and Their Applications, Cardiff, Wales, 7–12 Sept. 2008. Proceedings / Ed. J.E.Jones. — Cardiff : Cardiff University, pp. 465–468.
5. Zhovtyansky V.A. (2009). The Gas Institute of the NAS of Ukraine developments in the field of plasma technologies and equipment. *Energotehnologii i resursosberezhenie [Energy Technologies and Resource Saving]*, (4), pp. 97–108. (Rus.)
6. Zhovtyansky V.A., Petrov S.V., Kolesnyk V.V., Orlyk V.M., Lelyukh Yu.I., Nevzgliad I.O., Goncharuk Yu.A., Yakymovych M.V. (2012). The Conversion of Carbonaceous Raw Materials by Plasma Technology Application. *Energotehnologii i resursosberezhenie [Energy Technologies and Resource Saving]*, (5), pp. 15–32. (Rus.)
7. Schilling H.-D., Bonn B., Kraus U. (1986). Coal gasification. — Moscow : Nedra, 175 p. (Rus.)
8. Gerasimov G.Ja. (2001). Dioxin formation during the chlorine-containing fuels incineration. *Fizika gorenija i vzryva [Physics of combustion and explosion]*, 37 (2), pp. 29–34. (Rus.)
9. Kolesnyk V.V., Orlyk V.M., Olejnik S.Ju., Rossokha A.V. (2008). Thermodynamic analysis of the dioxin formation processes. *Ukrainskij himicheskij zhurnal [Ukrainian Chemical Journal]*, 74 (12), pp.78–82. (Rus.)
10. Kolesnyk V.V., Orlyk V.M., Olejnik S.Ju., Rossokha A.V. (2009). Thermodynamic analysis of the furan formation processes. *Ukrainskij himicheskij zhurnal [Ukrainian Chemical Journal]*, 75 (9–10), pp. 99–102. (Rus.)

Received February 12, 2013

## Сводный каталог периодических изданий, выпускаемых академиями наук — членами МААН

Каталог создан после принятия Советом Международной ассоциации академий наук решения о поддержке инициативы Совета по книгоизданию при МААН о создании совместного подписного каталога научных периодических изданий Академий наук и организаций — членов МААН.

Цель создания каталога — улучшение коммуникаций и обмена научной информацией между учеными и создание льготных условий для подписчиков, издателей и редакций научных изданий.

По вопросам организации подписки, оформления заказов и обработки подписной документации 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: innovation@nas.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: perova@viniti.ru