

## ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ СИНТЕЗ-ГАЗА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОБЪЕМНЫХ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ИМПУЛЬСНЫХ РАЗРЯДОВ: КОРОННОГО И БАРЬЕРНОГО

*В заводських умовах проведено апробацію створеного високовольтного комплексу (установки), який складається з двох генераторів імпульсів з частотою проходження імпульсів до 50000 імпл/с і навантаження у вигляді реакторів з імпульсними розрядами – коронним і бар'єрним. У якості комутаторів енергії використано транзисторні (IGBT) ключі. Отримано раціональний режим конверсії (парового риформінгу) метану у складі коксового газу в синтез-газ за допомогою створеної установки. Для зменшення питомих енерговитрат на одержання синтез-газу при конверсії використано односпрямовану дію імпульсних розрядів, температури парогазової суміші і нікелевого катализатора. Описано можливий механізм такої конверсії.*

*В заводских условиях проведена апробация созданного высоковольтного комплекса (установки), состоящего из двух генераторов импульсов с частотой следования до 50000 имп/с и нагрузки в виде реакторов с импульсными разрядами – коронным и барьерным. В качестве коммутаторов энергии использованы транзисторные (IGBT) ключи. Получен рациональный режим конверсии (парового риформинга) метана в составе коксового газа в синтез-газ при помощи созданной установки. Для уменьшения удельных энергозатрат на получение синтез-газа при конверсии использовано однонаправленное действие импульсных разрядов, температуры парогазовой смеси и никелевого катализатора. Описан возможный механизм такой конверсии.*

### ВВЕДЕНИЕ

Электротехнологии перспективны для современной промышленности, энергетического комплекса, рационального получения экологически чистых источников энергии [1-3]. В [1] показана перспективность применения барьерного разряда при использовании никелевого катализатора в виде мелкого песка для получения ценного энергетического сырья – синтез-газа ( $H_2 + CO$  в различных процентных соотношениях) путем парового риформинга (паровой конверсии) метана в лабораторных условиях. Однако до сих пор исследования проводились в лабораторных условиях и при малых расходах исходного газа (производительностях) [1]. В этих исследованиях использовались высоковольтные источники переменного напряжения. Источники высоких импульсных напряжений (ИВИН) с частотами следования импульсов до 50000 импл./с, насколько авторам известно, не использовались. Но именно ИВИН позволяют получать наибольшие рабочие напряжения и напряженности в высоковольтных разрядах и, следовательно, существенно увеличить среднюю энергию электронов в разрядах до  $7 \div 10$  эВ, а, возможно, и более. Это открывает новые перспективы уменьшения удельных энергозатрат при получении синтез-газа на основе электроразрядных электрофизических технологий.

Цель работы – создание установки с генераторами объемных высоковольтных импульсных разрядов (коронного и барьерного), обеспечивающих конверсию (риформинг) метана (в составе коксового газа) в синтез-газ в заводских условиях, и отработка рационального режима её работы.

### СХЕМА И ОТЛИЧИТЕЛЬНЫЕ ЧЕРТЫ ОПЫТНОГО ОБРАЗЦА УСТАНОВКИ

Пилотный вариант установки, названной высоковольтным комплексом, описан в [2]. Схема опытного образца установки для осуществления в заводских условиях электротехнологии получения синтез-газа с использованием коронного и барьерного разрядов

приведена на рис. 1. Отличительной чертой установки является наличие двух синхронно работающих генераторов импульсов. Высоковольтные импульсы от генераторов имеют различную амплитуду, форму и частоту следования. Нагрузкой одного генератора является реактор с импульсным коронным разрядом в газовой смеси коксового газа с водяным паром, а нагрузкой второго – реактор с импульсным барьерным разрядом. Емкость  $C_n$  между высоковольтными электродами реакторов  $C_n < 1$  пФ. Реактор с барьером заполнен промышленным никелевым катализатором. Такое построение установки (электротехнического комплекса) позволяет осуществить двухступенчатую обработку исходной газовой смеси. На рис. 1 индексы "б" и "к" означают, что величина относится к барьерному и коронному блоку установки соответственно; ИП – источник питания, СУ – система управления,  $V_T$  – IGBT-ключ, ИТ – импульсный трансформатор, коэффициент трансформации  $k_{тк}=130$  в трансформаторе для реактора с коронным разрядом,  $k_{тб}=50$  в трансформаторе для реактора с барьером,  $C_0$  – основная накопительная ёмкость в виде электролитических конденсаторов,  $C_0=4 \times 470$  мкФ,  $C_1$  – сильноточная ёмкость,  $C_1=4$  мкФ,  $L$  – развязывающая индуктивность, в ветвь которой включен предохранитель, на рис. 1 не показанный,  $L \approx 1$  мГн,  $V_{DS}$  – обратный диод транзисторного IGBT-ключа,  $R_3$  – защитное сопротивление,  $R_{зк}=41$  кОм,  $R_{зб}=1,7$  кОм, Р – реактор, кат – катализатор в реакторе, содержащем диэлектрический барьер из кварцевого стекла,  $C_n$  – паразитная ёмкость между высоковольтными вводами реакторов,  $l$  – длина закраины на цилиндре из кварцевого стекла,  $l=20$  мм, стрелками показано направление движения парогазовой смеси.

В обоих генераторах транзисторные ключи работают в режиме размыкающих коммутаторов (см. рис. 1, 2). В этом режиме энергия, предварительно накопленная в конденсаторах низковольтной цепи каждого

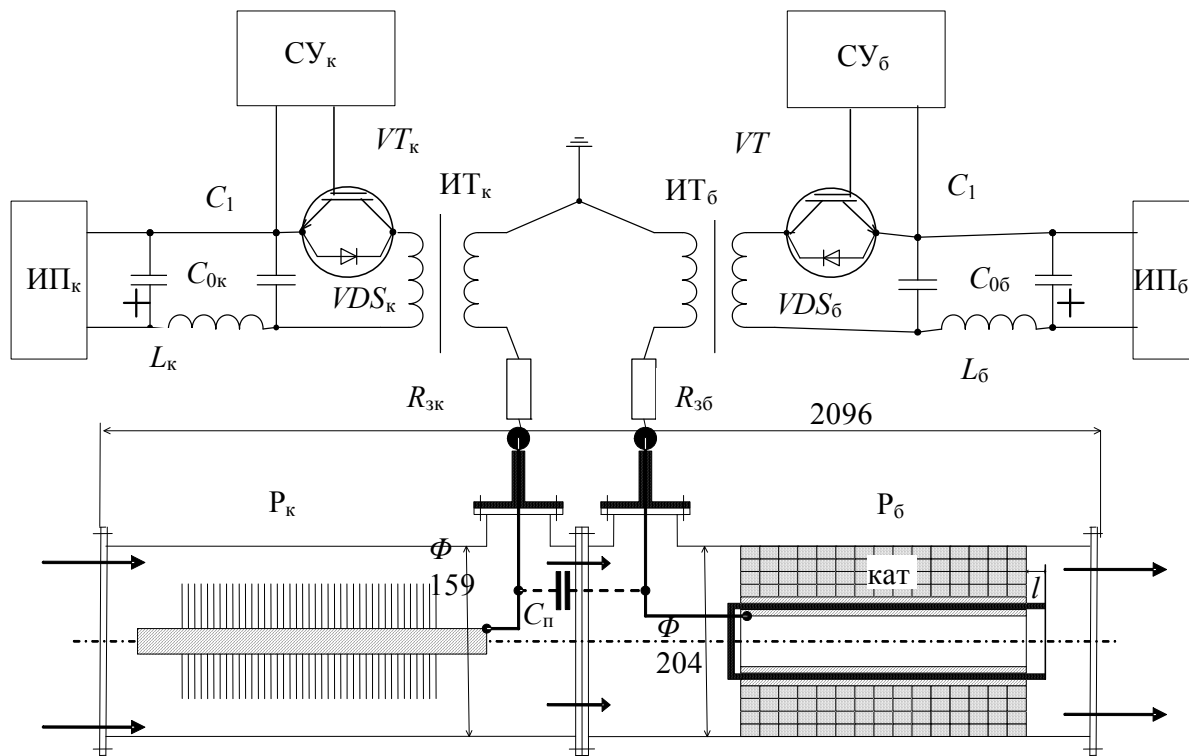


Рис. 1

из двух импульсных трансформаторов, передается в нагрузку – реактор с импульсным объёмным разрядом (коронным или барьерным) через промежуточный индуктивный накопитель, которым является индуктивность намагничивания каждого импульсного трансформатора. Такой способ передачи энергии в нагрузку позволяет избежать принципиальных ограничений по амплитуде импульсов напряжения на нагрузке, имеющих место, когда транзисторный ключ работает в режиме замыкающего коммутатора [4].

На рис. 2 приведена схема замещения генератора:  $VT$  – транзисторный IGBT коммутатор,  $VD$  – встроенные в транзисторы обратные диоды IGBT-ключа,  $C_H$  – низковольтная исходно заряженная ёмкость;  $C'_p, C_p$  – приведенная и реальная ёмкость высоковольтного реактора соответственно,  $C'_p = \kappa^2 C_p$ ;  $C_{ЭК}$  – ёмкость "эмиттер-коллектор" IGBT-ключа,  $C_{ЭК} \ll C'_p \ll C_H$ ;  $L_\mu$  – индуктивность намагничивания ИТ;  $L_{сн}, L'_{св}$  – индуктивности рассеяния первичной и приведенная вторичной обмоток ИТ соответственно;  $C'_1, C'_2$  – емкости высоковольтного и низковольтного плеч емкостного делителя напряжения ЕДН (в неприведенном к первичной обмотке ИТ виде, т.е. реальные ёмкости  $C_1 \approx 2,8$  пФ, а  $C_2 = 14,7$  нФ, коэффициент деления  $K_d \approx 5250$ ) с согласующим сопротивлением  $R_c$ ;  $R'_p$  – приведенное активное сопротивление  $R_p$  коронного разряда в реакторе,  $R'_p = R_p / \kappa_T^2$ ;  $i_k, i'_p, i_\mu$  – коллекторный ток, приведенный ток через нагрузку-реактор, ток намагничивания соответственно (показаны стрелками);  $V$  – вольтметр.

Ёмкостный делитель, при помощи которого проводились измерения импульсных напряжений на реакторах, описан в [5]. Каждый из двух генераторов состоит из источника питания, низковольтного генератора стартовых импульсов с IGBT-ключом, импульсного повышающего трансформатора ИТ с нелинейной вы-

соковольтной нагрузкой в виде реактора с коронным или барьерным разрядом и системы управления СУ.

Принципиально важным при работе генераторов с транзисторными ключами в качестве размыкающих коммутаторов является отсутствие тока в нагрузке – реакторах (на рис. 2 приведенный к первичной обмотке трансформатора ток  $i'_p$  в реакторе) в моменты размыкания ключей. Наличие такого тока приводит к появлению коротких, но больших по амплитуде перенапряжений на транзисторных ключах. Эти перенапряжения могут превысить допустимые напряжения между коллектором и эмиттером в транзисторах ключа и привести к выходу из строя транзистора в ключе. Режим работы каждого генератора, при котором в момент размыкания транзисторного ключа ток в реакторе отсутствует, обеспечивается соблюдением условий  $U_0 = U'_p, U_{ЭК} = 0$  в этот момент. При этом коллекторный ток  $i_k$  и ток намагничивания  $i_\mu$  протекают и равны друг другу. В отсутствие приведенного тока через реактор коллекторный ток и ток намагничивания – это один и тот же ток. Отличительной чертой режима коммутации энергии в ёмкость реактора из индуктивности намагничивания путем размыкания транзисторного ключа является возможность её (энергии) полной передачи независимо от величин этих ёмкости и индуктивности.

$$L_\mu \times i_\mu^2 = C'_p \times U_p'^2 = C_p \times U_p^2, \text{ откуда} \quad (1)$$

$$U_p = i_\mu \times (L_\mu / C_p)^{1/2}.$$

Такая возможность отсутствует, когда транзисторный ключ работает в режиме замыкающего коммутатора, передающего энергию из основного низковольтного накопителя  $C_H$  в ёмкость реактора  $C'_p$ , минуя  $L_\mu$ . В последнем случае энергия будет полностью передана в реактор только при  $C'_p = C_H$ .



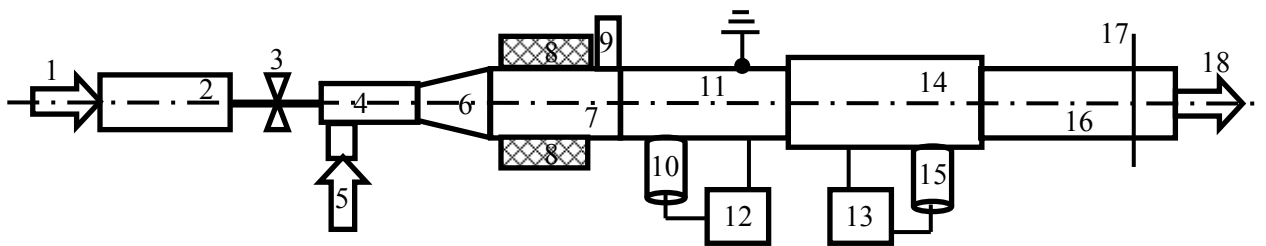
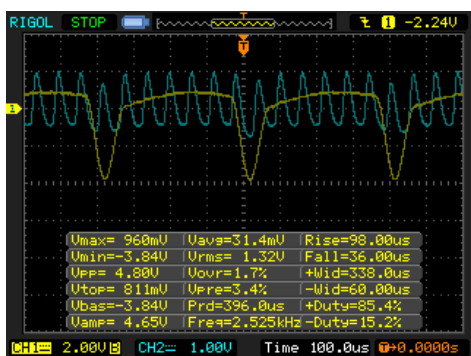
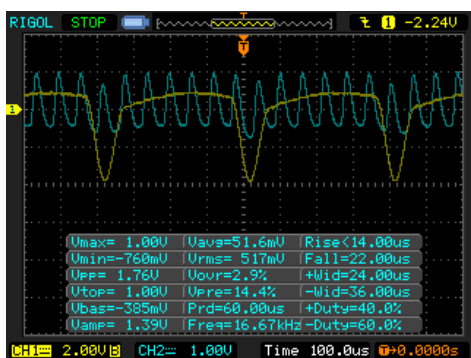


Рис. 4

Регистрирующее устройство – двухканальный цифровой осциллограф RIGOL DS1102E с полосой пропускания 100 МГц.



а



б

Рис. 5

Основные действующие факторы при рациональном двухступенчатом паровом риформинге метана в синтез-газ с использованием импульсных коронного и барьерного разрядов в присутствии катализатора: температура 600-700 °С; факторы от объёмных разрядов (коронного и барьерного): микрочастицы, начиная с электронов, плазма, широкополосное излучение; катализатор, действие которого усилено импульсными токами и разрядами; плазмохимические реакции, интенсифицированные перечисленными выше факторами и наличием в рабочей зоне реакций водяных паров.

Установка работает следующим образом (см. рис. 4). Подлежащий конверсии коксовый газ 1 через патрубок 2 подается на вход установки. Проток коксового газа регулируется задвижкой 3. Регулируемый поток водяного пара 5 на вход установки подается через патрубок 4 с отводом. Перед инжектором 6 образуется парогазовая смесь из коксового газа и водяного пара, которая при помощи инжектора подается в патрубок 7, где при помощи внешнего нагревателя 8 нагревается до требуемой температуры. Перед входом нагретой парогазовой смеси в реактор 11 с коронным

разрядом через патрубок 9 производится отбор пробы этой (исходной) смеси для определения её состава. Из патрубка 7 парогазовая смесь подаётся в реактор 11 с коронным разрядом, где осуществляется первая стадия конверсии парогазовой смеси. Импульсы высокого напряжения, обеспечивающие получение импульсного коронного разряда в реакторе 11, от генератора 12 по проводнику через изолятор 10 подаются в реактор 11. Низковольтный вывод генератора 12 накоротко соединен с внешней трубой – корпусом реактора 11. Из реактора 11 частично активированная и преобразованная парогазовая смесь подаётся в барьерный реактор 14 с промышленным катализатором "кат". Барьер из кварцевого стекла обеспечивает барьерный разряд в реакторе 14 и протекание сильного импульсного тока через катализатор. Импульсы высокого напряжения на реактор 14 подаются от генератора 13 по проводнику через изолятор 15. Низковольтный вывод генератора 13 накоротко соединен с внешней трубой – корпусом реактора 14. Корпуса реакторов 11 и 14 накоротко соединены между собой и заземлены. В реакторе 14 осуществляется вторая стадия конверсии и получение синтез-газа. Из реактора 14 результирующая газовая смесь поступает в патрубок 16, в котором расположена заслонка (шибер) 17 для регулировки потока газовой смеси. На выходе 18 из патрубка 16 производится отбор проб для определения компонентного состава газа после реакторов.

#### ВОЗМОЖНЫЙ МЕХАНИЗМ КОНВЕРСИИ МЕТАНА В СИНТЕЗ-ГАЗ В УСЛОВИЯХ НЕДОСТАТОЧНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОЙ РАБОТЫ КАТАЛИЗАТОРА БЕЗ РАЗРЯДОВ

В реакторе с коронным разрядом, расположенном первым по ходу движения коксового газа, образуются электроны с энергией порядка 10 эВ и более, набранной в электрическом поле импульсного коронного разряда. Эти электроны приводят к возбуждению, частичной диссоциации и ионизации молекул метана в составе коксового газа и запускают различные плазмохимические реакции.

При увеличении температуры а, следовательно, и энергии тяжелых микрочастиц (молекул, атомов, ионов, радикалов) плазмохимические реакции будут протекать интенсивнее. В барьерном реакторе, заполненном промышленным никелевым катализатором, протекает импульсный ток, вызванный генератором высоковольтных импульсов. Этот ток в барьере (из кварцевого стекла) является током смещения, а в никелевой катализаторной засыпке – током проводимости. Ток в барьерном реакторе активирует никелевый катализатор даже при

пониженных температурах. Это приводит к дальнейшему риформингу метана в синтез-газ. Однако, при пониженных температурах 100-300 °С влияния катализатора на процесс риформинга не достаточно. Кроме того, при температурах менее 550 °С из коксового газа (особенно прямого) на никелевом катализаторе выпадает осадок из смолистых веществ и засоряет катализатор, приводя к ухудшению результатов риформинга.

### НЕОБХОДИМОЕ УСЛОВИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПАРОВОГО РИФОРМИНГА МЕТАНА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РАЗРЯДОВ

Для эффективного парового риформинга метана в присутствии высоковольтных разрядов удельная энергия  $W_{\text{мол}}$ , вводимая в реакторы, должна быть не менее  $W_{\text{мол. min}} \approx 1$  эВ/молекула [1]. Отсюда следует, что требуемая минимальная плотность энергии составляет

$$W_{\text{уд. min}} \approx W_{\text{мол. min}} \times N_{\text{А, м}^3} = (1 \text{ эВ/молекула}) \times 2,687 \times 10^{25} \text{ молекул/м}^3 = (1,6 \times 10^{-19} \text{ Дж/молекула}) \times 2,687 \times 10^{25} \text{ молекул/м}^3 \approx 4,3 \times 10^6 \text{ Дж/м}^3 \approx 1,2 \text{ кВт} \times \text{ч/м}^3,$$

где  $W_{\text{уд. min}}$  – требуемая минимальная плотность энергии в реакторе,  $N_{\text{А, м}^3}$  – число Лошмидта, число молекул, находящихся в 1 м<sup>3</sup> идеального газа при нормальных условиях.

Компонентный состав отобранного газа до и после реакторов как результат экспериментов по использованию импульсных коронного и барьерного разрядов при паровом риформинге прямого коксового газа в синтез-газ в заводских условиях приведен в табл. 1.

Таблица 1

Место отбора	Состав газа, % объемные						
	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	C <sub>m</sub> H <sub>n</sub>	CO	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub>
До реакторов	1,0	0,7	2,3	6,3	60,4	26,0	3,3
После реакторов	4,5	0,6	0,0	2,6	83,3	7,8	1,2

Отбор газа производился при следующих условиях: сырье – прямой коксовый газ, давление пара перед инжектором – 0,35 атм, температура смеси после реакторов – 290 °С, расход парогазовой смеси – 1,35 м<sup>3</sup>/час. Из табл. 1 следует, что при таких условиях  $\approx 67$  % метана в составе коксового газа преобразовано в синтез-газ (прежде всего – в водород), которого 85,9 % в смеси после реакторов.

Приведём оценочный расчет плотности энергии  $W_{\text{уд}}$  в реакторах в эксперименте, проведенном в заводских условиях. В реакторе с импульсным коронным разрядом

$$\begin{aligned} W_{\text{уд. кор}} &= (W_{\text{э. уд. бар}} + W_{\text{т. уд. кор}}) = P_3 \times t / V + W_T \approx \\ &\approx P_3 \times t / V + (3/2) \times K \times T \times N_{\text{А, м}^3} \approx \\ &\approx 250 \text{ Вт} \times 1 \text{ ч} / 1,35 \text{ м}^3 + 1,5 \times 1,38 \times 10^{-23} \text{ (Дж/К)} \times \\ &\times (290 + 273) \text{ К} \times 2,687 \times 10^{25} \text{ молекул/м}^3 \approx \\ &\approx 0,271 \text{ кВт} \times \text{ч/м}^3. \end{aligned}$$

В реакторе с барьерным разрядом, если не учитывать потери энергии, к введенной в реакторе с коронным разрядом плотности энергии  $W_{\text{уд. кор}} \approx 0,271$  кВт×ч/м<sup>3</sup> добавляется плотность энергии  $W_{\text{э. уд. бар}}$  от генератора импульсов, нагруженного барьерным реактором. В экспериментах имело место приближенное равенство плотностей энергий от этих двух

генераторов:  $W_{\text{э. уд. бар}} \approx W_{\text{э. уд. кор}} = 0,185$  кВт×ч/м<sup>3</sup>. Поэтому суммарную плотность энергии, введенную в парогазовую смесь в реакторе с барьером разрядом (и импульсным током), если не учитывать энергетические потери, можно оценить, как  $W_{\text{уд. бар}} = W_{\text{уд. кор}} + W_{\text{э. уд. бар}} = 0,271 + 0,185 = 0,456$  (кВт×ч/м<sup>3</sup>). Эта плотность энергии существенно меньше требуемой по [1] минимальной плотности  $W_{\text{уд. min}} \approx 1,2$  кВт×ч/м<sup>3</sup>. Тем не менее получен явный эффект парового риформинга метана в составе коксового газа в эксперименте при расходе парогазовой смеси 1,35 м<sup>3</sup>/ч (см. табл. 1).

Создание технологии парового риформинга (прямого) сырого коксового газа в синтез-газ на основе высоковольтных объемных разрядов и импульсных токов выглядит перспективным, если не допускать выпадения смолистых соединений из сырого коксового газа в реакторах. Для этого до подачи в реакторы установки сырого коксового газа с  $t \geq 600$  °С их следует прогреть до  $t \geq 500$  °С "чисто", т.е. без нежелательных веществ в носителе тепла в случае использования такого носителя.

### ВЫВОДЫ

1. Впервые создана и в заводских условиях успешно опробована установка для парового риформинга метана в составе коксового газа в синтез-газ при помощи высоковольтных импульсных объемных разрядов: коронного и барьерного с засыпкой никелевым катализатором.

2. В рассмотренной установке впервые применена двухступенчатая обработка высоковольтными объемными разрядами парогазовой смеси с целью энергоэкономичного парового риформинга метана в составе прямого (сырого) коксового газа в синтез-газ.

3. В полученном рациональном режиме парового риформинга 67 % метана в составе коксового газа преобразовано в синтез-газ, которого 85,9 % в газовой смеси после реакторов, при плотности энергии, введенной в реакторы, существенно меньшей 1 кВт×ч/м<sup>3</sup>, и температуре смеси 290 °С.

4. Даны рекомендации по созданию новой промышленной электрофизической технологии парового риформинга метана в составе коксового газа.

Авторы выражают глубокую благодарность всем заводчанам, помогавшим и обеспечивавшим проведение работ. Особая благодарность Георгию Васильевичу Долгареву, без которого проведенные работы были бы невозможны.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Nozaki T., Muto N., Kado S., Okazaki K. Dissociation of vibrationally excited methane on Ni catalyst. Part 1. Application to methane steam reforming. *Catalysis Today*, 2004, Vol.89, pp. 57-65.
2. Бойко Н.И., Евдошенко Л.С., Зароченцев А.И., Иванов В.М., Коняга С.Ф. Высоковольтный комплекс с двумя высокочастотными генераторами импульсов, регулируемыми режимы коронного и барьерного разрядов при обработке газообразных углеводородов // *Технічна електродинаміка*. – 2012. – №2. – С. 105-106.
3. Высоковольтные электротехнологии / Под ред. И.П. Верещагина. – М.: изд-во МЭИ, 2000. – 204 с.
4. Бойко Н.И., Борцов А.В., Евдошенко Л.С., Иванов В.М.

Генераторы высоковольтных импульсов с частотой следования до 50000 импульсов в секунду // Приборы и техника эксперимента. – 2011. – №4. – С. 92-101.

5. Бойко Н.И., Евдошенко Л.С., Иванов В.М., Христенко О.А. Компактный ёмкостный делитель напряжения на 70 кВ с экранированным промежуточным электродом // Электро-техника і електромеханіка. – 2012. – №6. – С. 41-46.

**REFERENCES:** 1. Nozaki T., Muto N., Kado S., Okazaki K. Dissociation of vibrationally excited methane on Ni catalyst. Part 1. Application to methane steam reforming. *Catalysis Today*, 2004, Vol.89, pp. 57-65. 2. Boyko M.I., Yevdoshenko L.S., Zarochentsev A.I., Ivanov V.M., Koniaga S.F. The high-voltage complex with two high-frequency pulse generators for regulating the modes of corona discharges and barrier ones during a treatment of gas hydrocarbons. *Tekhnichna elektrody-namika – Technical electro-dynamics*, 2012, no.2, pp. 105-106. 3. *Vysokovol'tnye elektrotekhnologii* [High-voltage electro technologies]. Edited by I.P. Vereshchagin. Moscow, Publishing House of MEI, 2000. 204 p. 4. Boyko M.I., Bortsov A.V., Yevdoshenko L.S., Ivanov V.M. Generators of high-voltage pulses with a repetition rate of up to 50,000 pulses per second. *Pribory i tekhnika eksperimenta – Instruments and experimental techniques*, 2011, no.4, pp. 92-101. 5. Boyko M.I., Yevdoshenko L.S., Ivanov V.M., Khrystenko O.A. The compact capacitive divider of voltage up to 70 kV with shielded intermediate electrode. *Elektro-tekhnika i elektromekhanika – Electrical engineering & electromechanics*, 2012, no.6. pp. 41-46.

*Поступила (received) 09.02.2014*

Бойко Николай Иванович<sup>1</sup>, д.т.н., проф.,  
Евдошенко Леонид Свиридович<sup>1</sup>, к.т.н.,  
Иванов Владимир Михайлович<sup>2</sup>,  
Кониага Станислав Федорович<sup>1</sup>,

<sup>1</sup>Национальный технический университет  
"Харьковский политехнический институт",  
61002, Харьков, ул. Фрунзе, 21,  
тел/phone +38 057 7076245, тел/phone, факс/fax 7076183,  
e-mail: qnaboy@mail.ru

<sup>2</sup>Научно-исследовательский и проектно-конструкторский  
институт "Молния", Национальный технический  
университет "Харьковский политехнический институт",  
61013, Харьков, ул. Шевченко, 47,  
тел/phone, факс/fax +38 057 7076183,  
e-mail: eft@kpi.kharkov.ua

*M.I. Boyko<sup>1</sup>, L.S. Yevdoshenko<sup>1</sup>, V.M. Ivanov<sup>2</sup>, S.F. Koniaga<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"  
21, Frunze Str., Kharkiv, 61002, Ukraine

<sup>2</sup>Scientific-&-Research Planning-&-Design Institute "Molniya"  
National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"  
47, Shevchenko Str., Kharkiv, 61013, Ukraine

#### **Synthesis gas regeneration electrotechnology using volume high-voltage pulsed discharges: corona and barrier ones.**

Factory testing of a created high-voltage complex (plant) has been conducted. The complex consists of two pulse generators with the repetition rate of up to 50,000 pulses per second and load reactors with pulsed discharges – corona and barrier ones. Transistor (IGBT) keys are used as energy switches. The efficient mode of coke gas methane conversion (steam reforming) to syngas has been obtained with application of the complex created. A unidirectional action of the pulsed discharges, the gas mixture temperature, and a nickel catalyst has reduced the specific energy consumption for synthesis gas regeneration during the conversion. A feasible mechanism of this conversion is described.

**Key words – high-voltage complex, pulse generator, corona discharge, barrier discharge, reactor, electrotechnology.**