

УДК 622.278

DOI: <https://doi.org/10.15407/geotm2020.151.170>**ПОВЫШЕНИЕ ТЕПЛОТВОРНОЙ СПОСОБНОСТИ ГАЗОВОЙ ФАЗЫ
ПАРОПЛАЗМЕННЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ СРЕД****¹Холявченко Л.Т., ¹Опарин С.А., ¹Емельяненко В.И., ¹Давыдов С.Л.**¹*Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины***ПІДВИЩЕННЯ ТЕПЛОТВОРНОЇ ЗДАТНОСТІ ГАЗОВОЇ ФАЗИ
ПАРОПЛАЗМОВИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ ВУГЛЕЦЬВМІСНИХ СЕРЕДОВИЩ****¹Холявченко Л.Т., ¹Опарин С.О., ¹Ємельяненко В.І., ¹Давидов С.Л.**¹*Институт геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України***INCREASING THE CALORIFIC VALUE OF THE GAS PHASE OF THE STEAM-
PLASMA TRANSFORMATIONS OF CARBON-CONTAINING ENVIRONMENTS****¹Kholyavchenko L.T., ¹Oparin S.A., ¹Yemelyanenko V.I., ¹Davydov S.L.**¹*Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov of NAS of Ukraine*

Аннотация. Увеличение объёмов ресурсо- и энергопотребления мировой промышленностью приводит к негативному и необратимому воздействию на окружающую среду продуктов прямого сжигания углеродсодержащих сред различного происхождения вследствие выделения в атмосферу канцерогенных и токсичных веществ. Одним из путей решения данной проблемы является использование альтернативных возобновляемых источников энергии, таких как солнце, ветер, вода, водород, получаемый от разделения воды и д.п. Их производство и применение не влияет на окружающую среду, а разделение воды сопровождается выделением в атмосферу кислорода. Однако данные технологи находятся в развитии и на сегодня не могут удовлетворить потребности развивающихся экономик. Перспективным направлением в области чистых технологий является предварительная подготовка углеродсодержащих сред различного происхождения путём термопревращения их в газовое состояние в полях высоких температур.

В работе приведён анализ существующих автотермических и аллотермических технологий газификации углеродсодержащих сред. Представлены преимущества аллотермических технологий высокотемпературных превращений в электромагнитных полях дуговой плазмы с паровой окислительной среды. Однако, ввиду повышенной энергоёмкости процесса продвижение плазменных технологий с термопревращениями углеродсодержащих сред остаётся затруднительным. Показаны пути увеличения калорийности получаемого газа путём воздействия на дуговой разряд и на газовые образования сильными магнитными полями с образованием стабильных энергетических объединений молекул или отдельных атомов, энергия связей которых может существенно превышать соответствующие параметры обычных молекул, а их энергетический выход может в 5 раз превышать величину использованной энергии преобразований.

Ключевым является то, что температура в несколько тысяч градусов и мощное магнитное поле в зоне горения электрического разряда преобразуют электронные орбиты соединений углерода, кислорода и водорода, из которых преимущественно состоит плазма. По мере того, как плазма вымывается потоком в окружающие слои жидкости, входящие в её состав элементы быстро остывают и объединяются в кластеры с сохранением внутренней энергии.

На основании результатов проведённых теоретических и экспериментальных исследований разработан способ плазменной газификации углеродсодержащих сред и плазменно-дуговой реактор для его осуществления.

Ключевые слова: углеродсодержащая среда, пароплазменная газификация, плазмогаз, калорийность

Введение. Глобальной проблемой мирового сообщества является возрастающее негативное воздействие на окружающую среду продуктов прямого сжигания углеродсодержащих сред различного происхождения, в том числе углей, твёрдого топлива, бытовых отходов. Первопричины – всевозрастающие объёмы энергопотребления мировой промышленностью и пропорциональные ему выбросы в атмосферу канцерогенных и токсичных веществ, непосредственное и чрезмерное изъятие из атмосферы кислорода. Проблемы, вызванные прямым сжиганием природных ресурсов, являются настолько серьёзными, что порой переходят в катастрофические. Поскольку не существует естественных ресурсов

их замещения, которые смогли бы в полной мере обеспечить потребности всевозрастающего энергопотребления и чистоту окружающей среды, то такие энергоносители должны быть синтезированы в чистые энергии и отвечать следующим требованиям: не создавать проблем с загрязнением окружающей среды; быть приемлемыми для использования в двигателях внутреннего сгорания; быть конкурентными и доступными на рынке природных топлив. Идеальный выбор энергии в рамках этих требований – использование возобновляемых источников энергии, таких как солнце, ветер, вода, водород, получаемый от разделения воды и др. Их производство и применение не влияет на окружающую среду, а разделение воды сопровождается выделением в атмосферу кислорода. Но возобновляемые технологии пока находятся в развитии и на сегодня не могут удовлетворить потребности развивающихся экономик. Решить это представляется возможным предварительной подготовкой углеродсодержащих сред различного происхождения путём термопревращения их в газовое состояние в полях высоких температур. Накоплен достаточно большой опыт перевода твёрдого топлива в газовое состояние, в основе которого лежат автотермические методы. Все они базируются на сжигании части газифицируемого топлива для разгона и поддержки эндотермических реакций процесса окисления углерода [1, 2]. Хорошо апробированы и известны газификаторы в кипящем слое при атмосферном давлении (Винклера), в плотном стационарном слое (Лурги), в потоке (Тексако), на пылевидном топливе в расплаве (Коперс-Тотцека). Известны и широко применяются более современные варианты газификаторов второго поколения (Рур.100, НТВ, Баргбау, Ю-Газ, Лурги-Рургаз и др.). Данные технологии отличаются невысокими температурой (1400-1500 К) и плотностью теплового потока в реакционном пространстве, которые не могут обеспечить достаточный уровень деструкции вредных и токсичных соединений, скорости термопревращений, степени переработки углерода, исключена комплексная переработка сырья, большим расходом исходного сырья. Технологии характеризуются: экологическими проблемами его прямого сжигания; низкой производительностью процесса и устройств для его реализации; загрязнением газовой фазы продуктами сжигания части топлива, а конденсированной – остаточным углеродом; громоздким, дорогим и затратным оборудованием, в т.ч. для производства окислителя; значительными (до 10-20 %) выбросами CO_2 в окружающую среду при использовании парокислородного дутья, а при использовании воздуха в газовой фазе азот может достигать 60 %. Перечисленные недостатки и высокие капиталовложения при строительстве газификаторов препятствуют широкому распространению этих технологий.

Альтернативой автотермическим технологиям могут быть аллотермические технологии высокотемпературных превращений в электромагнитных полях дуговой плазмы с паровой окислительной средой. Паровая окислительная среда и плазменные источники энергии являются именно тем средством термовоздействия, которые комплексно отвечают требованиям процесса и качеству полезного продукта. Пароплазменные процессы отличаются универсальностью к свойствам исходного сырья, селективностью компонентов полезного продукта, экологической безопасностью, рациональным использованием исходного сырья, высокими скоростью химических реакций и производительностью процесса в

потоке, низкой металлоёмкостью оборудования [2, 3]. В совмещённых во времени и пространстве процессах плазмообразования, термопревращений и генерации окислителя из воды, путём деструкции её молекулы (при $T = 1800-2000$ К), водород из воды переходит в газовую фазу, увеличивая её объём на 40-50 % и теплотворную способность в 2,5-3 раза. Исключается трудоёмкий и дорогостоящий процесс получения кислорода, а генерируемый газ на 96-99 % состоит из CO (35-40) % и H_2 (55-60) %. Это гарантирует экологическую безопасность процессов превращения и последующего использования полезного продукта.

Однако, пароплазменный метод термопревращений твёрдого топлива, совмещённый с генерацией окислительной среды, является природно энергоёмким процессом, составляющий от 2,8-3,1 кВт·ч/кг или 1,6-1,8 кВт·ч/м³ [4, 5]. К тому же калорийность полученной газовой фазы, даже в кислородной или в паровой среде, составляет 11,0-12,5 МДж/м³, что ниже в 2,5 раза природного газа (32-36 МДж/м³). При использовании более дешёвого и доступного воздуха, калорийность газа не превышает 4,5-6,0 МДж/м³, газ на 45-60 % загрязнён балластным азотом, что плохо сочетается не только с технологиями синтеза жидких углеводородов, но и с прямым его сжиганием. Все это снижает конкурентность плазменной технологии термопревращений и пока на международном рынке остаются доступными нефть и природный газ, продвижение плазменных технологий термопревращений углеродсодержащих сред будет оставаться затруднительным.

Согласно развивающимся в последнее время теории и практике промежуточного ядерного синтеза или адронной физики (химии), калорийность газовой фазы можно повысить в разы, если применить предлагаемые этой теорией способы поляризации внутренних магнитных моментов ядер атомов или молекул газовой фазы [6]. Это можно осуществить воздействием на дуговой разряд и на газовые образования сильными магнитными полями. При этом в них формируются стабильные энергетические объединения молекул или отдельных атомов – кластеры, энергия связей которых может существенно превышать соответствующие параметры обычных молекул, а их энергетический выход может в 5 раз превышать величину использованной энергии преобразований [7]. Расчёты и практика компании «Сантили» показали, что использование квантовой теории для расчёта энергии химических реакций недостаточно для описания процессов производства энергии, превышающей, потраченную на её производство, в 5 раз. Это может быть объяснено энергетическим дополнением от промежуточного ядерного синтеза доктора Сантили [6, 7] и разработанных им технологии и реактор PlasmaArcFlow™ для превращения различных углеродсодержащих жидкостей в газообразное топливо, известное как MagneGas (MG). Суть технологии Р.М. Сантили заключается в следующем. Электрическая дуга, горящая между двумя углеродными электродами под слоем жидкости, эффективно разделяет воду на атомные составляющие при одновременной сублимации углеродсодержащих электродов. Вода и гидрокарбонатосодержащего сырья преобразуются в магнегаз, происходит стерилизация жидкости действием высокотемпературной электрической дуги, магнитного поля и интенсивного ультрафиолетового излучения. Молекулярный состав газа представлен следующими химическими

соединениями: H_2 – 40-45 %; CO – 55-60 %; CO_2 – 1-2 %. Именно эти простые вещества и индивидуальные атомы водорода, кислорода и углерода под действием силы магнитного поля объединяются в кластеры с малыми и большими молекулярными весами. Энергия, не идущая на рекомбинацию водорода и кислорода из воды, расходуется на её нагрев. Таким образом, производится две формы энергии – горючий газ и теплота, отводимая рабочей жидкостью. Энергия связей в кластерах существенно превышает энергию связей для обычных молекул. Поэтому теплотворная способность полученного газа выше, чем у обычного синтез-газа аналогичного химического состава. Ключевым здесь является то, что температура в несколько тысяч градусов и мощное магнитное поле в зоне горения электрического разряда, преобразуют электронные орбиты соединений углерода, кислорода и водорода, из которых преимущественно состоит плазма. По мере того, как плазма вымывается потоком в окружающие слои жидкости, входящие в её состав элементы быстро остывают и объединяются в кластеры с сохранением внутренней энергии. При последующем сжигании такого газа вначале разрушаются энергетические объединения – кластеры, выделяя энергию, затем активизируются обычные химические реакции окисления. Степень увеличения теплотворной способности газа зависит от количества магнитосвязанных структур, кластеров, а количество последних от насыщения исходного сырья углеводородами. Главным преимуществом магнегаза является доступная сырьевая база. Фактически его можно производить из любого сырья, содержащего углерод: уголь, нефть, промышленные, сельскохозяйственные и бытовые отходы и стоки.

Газообразное вещество, получаемое в плазмагаз-установках, чрезвычайно эффективное химическое топливо. При горении газа чистых молекул, найденных Р.М. Сантили, выделяется в 40 раз больше энергии, чем при горении такого же количества водорода (табл. 1) [7].

Таблица 1 – Теплота сгорания газов разной структуры

Топливо	Теплота сгорания, МДж/м ³
Природный газ	35,6
Водород	13
Магнегаз	480

Кластерные газовые структуры устойчивы при обычных условиях, так что для хранения газа не требуется каких-либо особых условий, по сравнению с природным газом. Такой газ легче воздуха и не воспламеняется от удара, что делает его ещё более привлекательным с точки зрения безопасности.

Экспериментальная часть. Одним из параметров, характеризующих энергетические показатели метода термопревращений является коэффициент полезного действия (КПД). В зависимости от метода газификации и качества угля, КПД газогенераторной техники колеблется в пределах 50-75 %. По данным Сантили [6, 7] энергетический КПД реакторов (η_e) для получения магнегаза больше единицы:

$$\eta_3 = \frac{E_{mg} + E_{heat}}{E_{electr}} > 1, \quad (1)$$

где E_{mg} – энергия, содержащаяся в магнегазе;

E_{heat} – энергия, приобретённая жидкостью;

E_{electr} – энергия, использованная для производства магнегаза.

Известно [6, 7], что производство одного кубического метра магнегаза требует, в среднем, энергии $E_{electr} = 15,5$ МДж/м³. Магнегаз, произведённый из антифризных отходов, имеет теплоту сгорания $E_{mg} = 32,5$ МДж/м³. Кроме того, производство магнегаза сопровождается нагревом жидкости, где аккумулируется теплота в количестве $E_{heat} = 11,5$ МДж/м³. Тогда энергетический КПД процесса значительно больше единицы:

$$\eta_3 = \frac{32,5 + 11,5}{15,5} = 2,83 > 1.$$

В тоже время, согласно квантовой химии при химическом составе произведённого газа, состоящего из 50 % водорода и 50 % оксида углерода, его энергетическая эффективность должна быть 0,79, что меньше 1:

$$\frac{E_{mg} + E_{heat}}{E_{electr}} = \frac{2,57}{3,24} = 0,79 < 1.$$

Кроме того, в соответствии с термодинамическими и экспериментальными исследованиями пароплазменных превращений углей марки АШ1 [3, 4, 5] из 1 кг угля образуется газа $V = 2,86$ нм³/кг с теплотой сгорания $Q_c = 11,6$ МДж/м³. Удельные энергозатраты процесса составляют $\omega_{y\delta}^m = 3,16$ кВт·ч/кг = 11,4 МДж/кг [5]. Количество тепла, содержащееся в газовой фазе $\omega_{y\delta}^{omx} = 2,1$ кВт·ч/кг = 7,56 МДж/кг. Низшая теплота сгорания угля $Q_y = 7500$ ккал/кг = 31,4 МДж/кг. Определяем полный КПД процесса (η_m):

$$\eta_m = \frac{Q_\phi^{n2} + Q_x^{n2}}{Q_x^y + Q_{эн.в.}} = \frac{7,56 + 33,2}{31,4 + 11,4} = 0,95 \text{ (95\%)},$$

где Q_ϕ^{n2} – физическое тепло продуктов газификации,

$$Q_\phi^{n2} = \omega_{y\delta}^{omx} = 7,56 \text{ МДж/кг};$$

Q_x^{n2} – химическое тепло продуктов газификации,

$$Q_x^{n2} = Q_c \cdot V = 11,6 \cdot 2,86 = 33,2 \text{ МДж/кг};$$

Q_x^y – химическое тепло израсходованного угля, $Q_x^y = 31,4$ МДж/кг;

$Q_{эн.в.}$ – энергия, введённая в процесс, $Q_{эн.в.} = 11,4$ МДж/кг.

Химический КПД (η_x) процесса пароплазменных превращений угля марки АШ1:

$$\eta_x = \frac{Q_x^{n2}}{Q_x^y} = \frac{33,2}{31,4} = 1,06 \text{ (106\%)}.$$

Энергетический КПД ($\eta_э$) процесса, с учётом энергии водимой в процесс $Q_{эн.г.} = Q_{эн.в.} - Q_{ф}^{nc} = 11,4 - 7,56 = 3,84$ МДж/кг, определится как

$$\eta_э = \frac{Q_x^{nc}}{Q_x^y + Q_{эн.г.}} = \frac{33,2}{31,4 + 3,84} = 0,94 \text{ (94\%)}$$

Расчёты показывают, что энергетический КПД процесса газификации, рассчитанный по известным методикам, базирующихся на законах квантовой химии, составляет 0,94 – для плазмогаза и 0,79 – для магнегаза. Но, исходя из показателей экспериментальных исследований д-ра Сантилли энергетический КПД процесса получения магнегаза равен 2,83.

Результаты и их обсуждение. Основные энергетические реакции, проходящие в реакторе PlasmaArcFlow TM: $H_2O + C = H_2 + CO - 131,4$ кДж/моль; $2C + O_2 = 2CO + 218,8$ кДж/моль. Этими реакциями описываются и плазмохимические превращения. Тогда химический состав полезного продукта и энергетические показатели в обоих случаях должны быть одинаковыми. Согласно известным методам и способам определения объёмной теплоты сгорания газа (ГОСТ 22667-82), базирующихся на теории классической квантовой химии, этот показатель вычисляется по компонентному составу газовой фазы и по теплоте сгорания её составляющих, а при экспериментальных исследованиях – хроматографическим методом по ГОСТу 23781-87. Химсостав конечного продукта пароплазменных превращений (назовём её плазмогаз) и магнегаза, полностью совпадает, но существенные различия между ними заключаются в их теплотворной способности. Исследованиями [4] установлено, что калорийность плазмогаза составляет 11,5-12,5 МДж/м³, а калорийность магнегаза [7] – от 36 МДж/м³ до 38,8 МДж/м³ – т.е. в 2,5-3 раза больше. Такая разница по основному энергетическому показателю не может быть незамеченной. Надо полагать, что существующие и применяемые нами способы измерения и расчёта калорийности газа не дают полной картины о возможных новых энергетических образованиях, возникающих в газовой фазе под воздействием мощных электромагнитных полей дуговой плазмы. Тогда адронные реакторы Сантилли могут рассматриваться как устройства реализующие принципы образования энергетических структур. Сравнивая результаты расчётов, энергоэффективности согласно квантовой химии и накопления энергии в энергетических кластерных структурах следует, что дополнительная энергия черпается из перерабатываемых углеродсодержащих суспензий. Актуальность этого вопроса возрастает если учесть, что повышение калорийности плазмогаза хотя бы в два раза делает его конкурентным в сравнении с природным газом, а если её увеличить в 3 раза, то пароплазменная технология могла бы стать конкурентной и востребованной основными отраслями экономики уже в настоящее время.

В практическом приложении технология получения магнегаза (технология PlasmaArcFlow TM) заключается в том, что электродуговой разряд горит в режиме «затопленного» в смеси воды с углеводородами различного происхождения. Дополнительно, процесс сопровождается сублимацией углерода в составе угольных электродов, служащих для подвода мощного электрического поля в реакционное пространство. В этом случае дуговой разряд рассматривается как

генератор энергии электрического и магнитного полей. Именно под одновременным действием мощных тепловых, электрических и магнитных полей элементы деструкции среды (атомы, молекулы, радикалы) ионизируются и с повышенной активностью объединяются в устойчивые энергетические структуры – кластеры (магнекулы Сантили). Энергия связи в подобных структурах существенно превышает соответствующие параметры обычных молекул. Исходя из этого теплотворная способность газа с такими магнитными связями выше, чем у газа без энергетических структур и в 3-4 раза превышает энергию, затраченную на производство газа. При сжигании такого газа сначала разрушаются кластеры, выделяя энергию, а затем протекают реакции горения. Теплотворная способность газа повышается в разы за счёт разрушения кластерных систем, что не обнаруживается методами измерений и расчётов, построенных на базе классической квантовой химии. Кроме того, при сжигании продукты горения отличаются большим выбросом в окружающую среду паров воды и кислорода.

Технология PlasmaArcFlow ТМ получает все большее признание, подтверждается и распространяется. Институтом фундаментальных исследований ЕНУ им. Л.Н. Гумелева (Казахстан) [8] на принципах адронной химии д-ра Сантили разработана плазмохимическая установка для переработки жидких отходов в синтез-газ. Продукт этой технологии и установки – горючий газ, альтернатива ацетилену, который на 10-50 % быстрее и качественнее режет металлический лист. Плазмохимическая установка компактная, высокотехнологичная, её эксплуатация не создаёт угрозу окружающей среде.

Сотрудниками Института газа и Института сварки им. Патона [9] разрабатывается ряд плазмохимических реакторов модульного типа («Плазер 201») мощностью 50 кВт, 100 кВт, 150 кВт для получения плазмогаза с улучшенными энергетическими показателями. Технология получения плазмогаза аналогична технологии PlasmaArcFlow ТМ, где дуговой разряд ($I = 250-300$ А) под воздействием мощных тепловых, электрических и магнитных полей горит в режиме «затопленного» в водоуглеродной суспензии. Авторы считают, что теплотворная способность плазмогаза в 1,5-2 раза выше, чем синтез-газа аналогичного химсостава, получаемого в обычных условиях. При его использовании в окружающую среду не поступают какие-либо выбросы, а токсичные и медицинские отходы полностью стерилизуются под воздействием высокой температуры (более 3000 °С) и ультрафиолетового излучения дугового разряда.

Авторами статьи ранее выполнено целый ряд исследований пароплазменного превращения углеродсодержащих сред под воздействием мощных электрических, тепловых и магнитных полей в режиме «затопленного» дугового разряда [10]. Результаты этих исследований обобщены в разработанных «Способ плазменной газификации водоугольного топлива и плазменно-дуговой реактор для его осуществления» (патент Украины №97717 от 12.03.2012 г). Способ заключается в том, что в реакторе под воздействием электрического и магнитного полей формируется дуговой разряд в виде энергетического конуса с вершиной на катоде с плотностью энергии не менее 0,15 кВт/см². Подача топлива и дугового разряда производится внутрь этого конуса в виде водоугольной суспензии (ВУС) без её распыления до заполнения анода 5 (рис. 1) в соотношении реагирующих

компонентов 1:0,9. Уровень ВУС в разрядной камере такой, чтобы был «затопленным» в ВУС. Плазменно-дуговой реактор для реализации способа (рис. 1) представляет собой цилиндрическую реакционную камеру с крышкой 7 и шламонакопителем 16, электродами – катод 4 и тигель-анод 5, соленоид 12, узел ввода топлива 6 и отличается тем, что электроды установлены по оси на разных её концах. При этом анод 5, представляющий собой тигель из жаропрочного материала, устанавливается с кольцевым зазором – диафрагмой 10. В нижней своей части анод 5 соединён патрубком 6 с системой подготовки и подачи топлива. Для усиления действия магнитного поля соленоида 12 на наружной части корпуса реактора, в зоне горения дугового разряда, установлена магнитная линза 13.

Исследования процессов термопревращений среды, контроль параметров и методы исследований базировались на традиционных методах расчёта, химического анализа и измерений параметров, которыми не представляется возможным обнаружить и тем более исследовать немолекулярные связи в составе генерируемой газовой фазы, что является основой повышения её теплотворной способности.

Исходя из вышеизложенного следует, что пароплазменная технология и средства, разрабатываемые для её реализации, аналогичны и близки технологии и средствам производства магнегаза. Необходимо найти способы управления молекулярными структурами газовой фазы при термопревращениях углеродсодержащих сред пароплазменным воздействием, а также установить методы определения немолекулярных связей в конечном продукте, и средства контроля измерения теплотворной способности получаемого продукта.

Выводы. В работе приведён анализ существующих автотермических и аллотермических технологий газификации углеродсодержащих сред. Представлены преимущества аллотермических технологий высокотемпературных превращений в электромагнитных полях дуговой плазмы с паровой окислительной средой. Показаны пути увеличения калорийности получаемого газа путём воздействия на дуговой разряд и на газовые образования сильными магнитными полями с образованием стабильных энергетических объединений молекул или отдельных атомов, энергия связей которых может существенно превышать соответствующие параметры обычных молекул, а их энергетический выход может в 5 раз превышать величину использованной энергии преобразований. На основании результатов проведённых теоретических и экспериментальных исследований

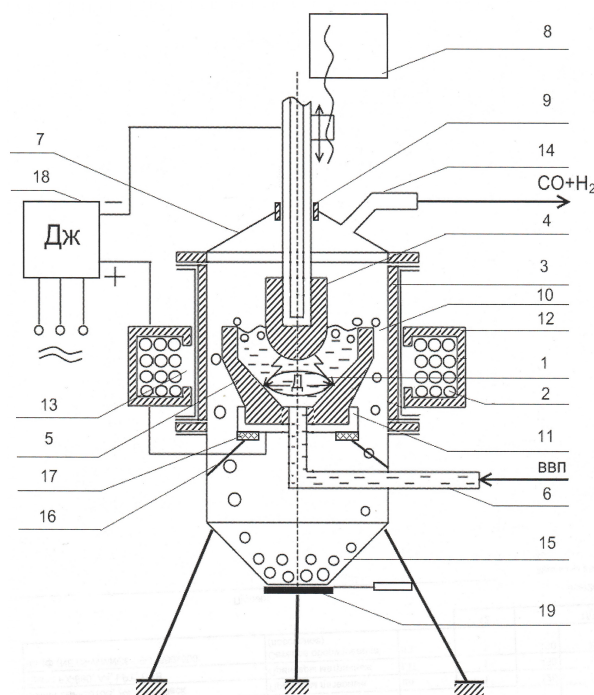


Рисунок 1 – Плазмодуговой реактор для газификации водоугольного топлива

разработан способ плазменной газификации углеродсодержащих сред и плазменно-дуговой реактор для его осуществления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. World Energy Outlook. Paris: International Energy Agency, 2018. 633 p.
2. Key World Energy Statistics. Paris: International Energy Agency, 2017. 97 p.
3. Оценка экономической и экологической эффективности замещения технологии прямого сжигания твердого топлива пароплазменной газификацией / А.Ф. Булат и др. *Доповіді НАН України*. 2017. №4. С. 33-41.
DOI: <https://doi.org/10.15407/dopovidi2017.04.033>
4. Давыдов С.Л. Расчётные показатели переработки углей и отходов их обогащения методом пароплазменной газификации. *Геотехническая механика*. Днепропетровск: ИГТМ НАНУ, 2013. Вып. 108. С. 179-185.
5. Опарин С.А., Давыдов С.Л., Холявченко Л.Т. Расчет энергоемкости процесса пароплазменной газификации углеродсодержащих сред. *Вопросы химии и химической технологии*. 2012. № 1. С. 89-95.
6. Santilli R.M. *The New Fuels With Magnecular Structure*. Palm Harbor, USA: International Academic Press, 2005. 211 p.
7. Chandrashekar P. Pandhurnekar, Sangesh P. Zodape. Santilli's Magnecules and Their Applications. *American Journal of Modern Physics*. 2017. № 6. P. 64-77.
8. Aringazin A.K., Santilli R.M. A Study of Polycarbonyl Compounds in Magnegases. *Hadronic J.* 2004. № 27. P. 331-347.
9. Управление процессом плазменной переработки твердых органических отходов / С.В. Петров, и др. *Вісник НТУУ «КПІ» Хімічна інженерія, екологія та ресурсосбереження*. 2009. №3(3). С. 134-145.
10. Комплексная переработка водоугольного топлива при плазменной газификации / А.Ф. Булат и др. *Геотехническая механика*. Днепропетровск: ИГТМ НАНУ, 2009. Вып. 81. С. 64-73.

REFERENCES

1. World Energy Outlook (2018), International Energy Agency, Paris, France.
2. Key World Energy Statistics (2017), International Energy Agency, Paris, France.
3. Bulat, A.F., Kholyavchenko, L.T., Davydov, S.L. and Oparyn, S.A. (2017), "Evaluation of the economic environmental efficiency of the replacement of technologies of direct combustion of a solid fuel by the stream-plasma gasification", *Dopovidi NAN Ukrayiny*, no. 4, pp. 33-41. DOI: <https://doi.org/10.15407/dopovidi2017.04.033>
4. Davydov, S.L. (2013), "Estimates of processing of coal and waste their enrichment method steam-plasma gasification", *Geo-Technical Mechanics*, no. 108, pp. 179-185.
5. Oparyn, S.A., Davydov, S.L. and Kholyavchenko, L.T. (2012), "Calculation of energy intensity of the process of steam-plasma gasification of carbonaceous media", *Issues of Chemistry and Chemical Technology*, no. 1, pp. 89-95.
6. Santilli, R.M. (2005), *The New Fuels With Magnecular Structure*, International Academic Press, Palm Harbor, USA.
7. Chandrashekar P. Pandhurnekar and Sangesh P. Zodape (2017), "Santilli's Magnecules and Their Applications", *American Journal of Modern Physics*, no. 6, pp. 64-77.
8. Aringazin, A.K. and Santilli, R.M. (2001), "A Study of Polycarbonyl Compounds in Magnegases", *Hadronic J.*, no. 27, pp. 331-347.
9. Petrov, S.V., Bondarenko, S.G., Didyk, E.G. and Didyk, A.A. (2009), "Management of the process of plasma processing of solid organic waste", *Chemical Engineering, Environment and Resource Saving*, no. 3(3), pp. 134-145.
10. Bulat, A.F., Alymov, B.D., Kholyavchenko, L.T. and Davydov, S.L. (2009), "The complex recycling of cool-water fuel at plasma gasification", *Geo-Technical Mechanics*, no. 81, pp. 64-73.

Об авторах

Холявченко Леонид Тимофеевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, старший научный сотрудник отдела вибротранспортных систем и комплексов, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАНУ), г. Днепр, Украина, oparinsa1977@gmail.com

Опарин Сергей Александрович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, старший научный сотрудник отдела вибротранспортных систем и комплексов, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАНУ), г. Днепр, Украина, oparinsa1977@gmail.com

Емельяненко Владимир Иванович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, старший научный сотрудник отдела вибротранспортных систем и комплексов, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАНУ), г. Днепр, Украина, oparinsa1977@gmail.com

Давыдов Сергей Леонидович, инженер, ведущий инженер отдела вибротранспортных систем и комплексов, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАНУ), г. Днепр, Украина, dsl77@ua.fm

About the authors

Kholyavchenko Leonid Tymofiiiovych, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Senior Researcher, Senior Researcher in Department of Vibratory Transporting Systems and Complexes, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov of National Academy of Science of Ukraine, Dnipro, Ukraine, oparinsa1977@gmail.com

Oparin Serghii Oleksandrovych, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Senior Researcher, Senior Researcher in Department of Vibratory Transporting Systems and Complexes, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov of National Academy of Science of Ukraine, Dnipro, Ukraine, oparinsa1977@gmail.com

Yemelianenko Volodymyr Ivanovych, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Senior Researcher, Senior Researcher in

Department of Vibratory Transporting Systems and Complexes, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov of National Academy of Science of Ukraine, Dnipro, Ukraine, oparinsa1977@gmail.com

Davydov Sergii Leonidovych, Master of Science, Principal Engineer in Department of Vibratory Transporting Systems and Complexes, Institute of Geotechnical Mechanics named by N. Poljakov of National Academy of Science of Ukraine, Dnipro, Ukraine, dsl77@ua.fm

Анотація. Збільшення об'ємів ресурсо- та енергоспоживання світовою промисловістю призводить до негативної і безповоротної дії на довкілля продуктів прямого спалювання вуглецевмісних середовищ різного походження внаслідок виділення в атмосферу канцерогенних і токсичних речовин. Одним з шляхів вирішення цієї проблеми є використання альтернативних поновлюваних джерел енергії, таких як сонце, вітер, вода, водень, що отримується від розділення води і т.п. Їх виробництво і застосування не впливає на довкілля, а розділення води супроводжується виділенням в атмосферу кисню. Проте ці технології знаходяться у розвитку і на сьогодні не можуть задовольнити потреби економік, що розвиваються. Перспективним напрямом в області чистих технологій є попередня підготовка вуглецевмісних середовищ різного походження шляхом термодетворення їх в газовий стан в полях високих температур.

У роботі наведено аналіз існуючих автотермічних та аллотермічних технологій газифікації вуглецевмісних середовищ. Представлені переваги аллотермічних технологій високотемпературних перетворень в електромагнітних полях дугової плазми з паровим окислювальним середовищем. Однак, зважаючи на підвищену енергоємність процесу, просування плазмових технологій з термодетвореннями вуглецевмісних середовищ залишається скрутним. Показано шляхи збільшення калорійності отриманого газу шляхом дії на дуговий розряд та на газові утворення сильними магнітними полями з утворенням стабільних енергетичних об'єднань молекул або окремих атомів, енергія зв'язків яких може істотно перевищувати відповідні параметри звичайних молекул, а їх енергетичний вихід може в 5 разів перевищувати величину використаної енергії перетворення.

Ключовим є те, що температура в кілька тисяч градусів і потужне магнітне поле в зоні горіння електричного розряду перетворюють електронні орбіти з'єднань вуглецю, кисню і водню, з яких переважно складається плазма. По мірі того як плазма вимивається потоком в навколишні шари рідини, елементи, що входять до її складу, швидко охолоджуються і об'єднуються в кластери зі збереженням внутрішньої енергії.

На підставі результатів проведених теоретичних та експериментальних досліджень розроблено спосіб плазмової газифікації вуглецевмісних середовищ та плазмово-дуговий реактор для його здійснення.

Ключові слова: вуглецевмісне середовище, пароплазмова газифікація, плазмогаз, калорійність

Abstract. The increase in the volume of resource and energy consumption by the global industry leads to a negative and irreversible environmental impact of the products of direct combustion of carbon-containing media of various origins due to the release of carcinogenic and toxic substances into the atmosphere. One of the ways to solve this problem is the use of alternative renewable energy sources, such as the sun, wind, water, hydrogen, derived from the separation of water, etc. Their production and use does not affect the environment, and the separation of water is accompanied by the release of oxygen into the atmosphere. However, these technologies are in development and today can not meet the needs of developing economies. A promising direction in the field of clean technologies is the preliminary preparation of carbon-containing environments media of various origins by means of their thermal transformation into a gas state in high-temperature fields.

The paper analyzes the existing autothermal and allothermal gasification technologies for carbon-containing media. The advantages of allothermal technologies of high-temperature transformations in electromagnetic fields of arc plasma from a steam oxidizing medium are presented. However, due to the increased energy intensity of the process, the advancement of plasma technologies with thermal conversions of carbon-containing environments remains difficult. The ways of increasing the caloric content of the produced gas by exposing the arc discharge and gas formations to strong magnetic fields with the formation of stable energy associations of molecules or individual atoms, the binding energies of which can significantly exceed the corresponding parameters of ordinary molecules, and their energy output can be 5 times higher than the value energy transformations.

The key is that a temperature of several thousand degrees and a powerful magnetic field in the combustion zone of an electric discharge transform the electronic orbits of the compounds of carbon, oxygen and hydrogen, of which the plasma mainly consists. As the plasma is washed away by a stream into the surrounding liquid layers, the elements included in its composition quickly cool down and combine into clusters with the conservation of internal energy.

Based on the results of theoretical and experimental studies, a method for plasma gasification of carbon-containing media and a plasma-arc reactor for its implementation has been developed.

Keywords: carbon-containing environment, steam-plasma gasification, plasma gas, caloric content

Статья поступила в редакцию 26.02.2020

Рекомендовано к печати д-ром техн. наук, проф. С.П. Минеевым