

## РАЗРАБОТКА ОСНОВ СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНОЙ ПЛАЗМЕННОЙ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЯ ПЕРЕРАБОТКИ УГЛЕВОДОРОДСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ В СИНТЕЗИРОВАННОЕ ТОПЛИВО

*Самсалиев Анвар Амантаевич, к.т.н., доцент, Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова. Кыргызстан, г. Бишкек пр.Мира 66, 720044. [kazas@mail.ru](mailto:kazas@mail.ru)*  
*Татыбеков Алымбек, д.т.н., профессор, Институт горного дела и горных технологий им. акад. У. Асаналиева при Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова. Кыргызстан, г. Бишкек пр. Чуй 215, 720001. [Alimbek46@mail.ru](mailto:Alimbek46@mail.ru)*

В работе обсуждаются предварительные результаты исследования пиролиза углеводородсодержащего сырья с применением разрабатываемой сверхвысокочастотной плазменной технологии, проведенные в различных технологических условиях с целью получения газообразных и жидких продуктов. Приведен обзор существующих плазмохимических устройств переработки сырья, с критическим анализом перспективности применения в различных технологических операциях. Дано описание разработанной и изготовленной лабораторной установки по крекингу тяжелых фракций нефти и перспективности применения данной установки в технологических операциях по переработке углеводородсодержащего сырья в синтезированное топливо. Предлагаемая технология имеет непрерывный характер, позволяет варьировать технологические условия с целью получения различных выходных продуктов.

**Ключевые слова.** Плазматроны, плазмохимические методы, пиролиз, сверхвысокочастотная плазменная технология, синтезированное топливо.

## DEVELOPMENT OF THE PRINCIPLES OF MICROWAVE PLASMA TECHNOLOGY AND THE EQUIPMENT PROCESSING OF HYDROCARBON RAW MATERIALS IN SYNTHETIC FUEL

*Samsaliev Anwar Amantaevich, Ph.D., Associate Professor, Kyrgyz State Technical University. I. Razzakova. Kyrgyzstan Bishkek pr.Mira 66, 720044. [kazas@mail.ru](mailto:kazas@mail.ru)*  
*Tatybekov Alymbek, Professor, Institute of Mining and Mining Technologies them. Acad. W. Asanalieva at Kyrgyz State Technical University. I. Razzakova. Kyrgyzstan, Bishkek pr.Chuy 215, 720001. [Alimbek46@mail.ru](mailto:Alimbek46@mail.ru)*

This paper discusses the preliminary results of pyrolysis of hydrocarbon material with the application of the developed microwave plasma technology, performed under various technological conditions with the object of obtaining gaseous and liquid products. The review of existing plasma devices for processing of raw materials, with critical review of promising applications in different technological operations. Description of designed and manufactured of the laboratory equipment for the cracking of heavy fractions of oil and the prospects of the use of this complex in the technological operations on processing of hydrocarbonic raw materials in synthetic fuel. The proposed technology has a continuous nature, allows you to vary process conditions for the purpose of obtaining different output products.

**Key words:** Torch, plasma chemical methods, pyrolysis, microwave plasma technology, the synthesized fuel.

Плазмохимический метод (пиролиз) – один из перспективных способов получения синтез-газа. Под ПХ-переработкой подразумеваются процессы, в которых все исходное вещество (а не только его поверхность) проходит стадию высокотемпературного состояния, обусловленного взаимодействием с плазмой. Типовая схема организации ПХ переработки материалов приведена на рис.1.

Перед тем как попасть в ПХ реактор исходное сырье претерпевает некоторую обработку, среди которой следует отметить измельчение (диспергацию). Чем более диспергировано вещество, тем более эффективна переработка, поскольку нагрев и испарение более мелких частиц происходит быстрее и с меньшими потерями энергии. Из узла подготовки сырье поступает в ПХ реактор, где перемешивается с плазмой, поступающей из плазмотрона, нагревается, испаряется и вступает в различного рода химические реакции.

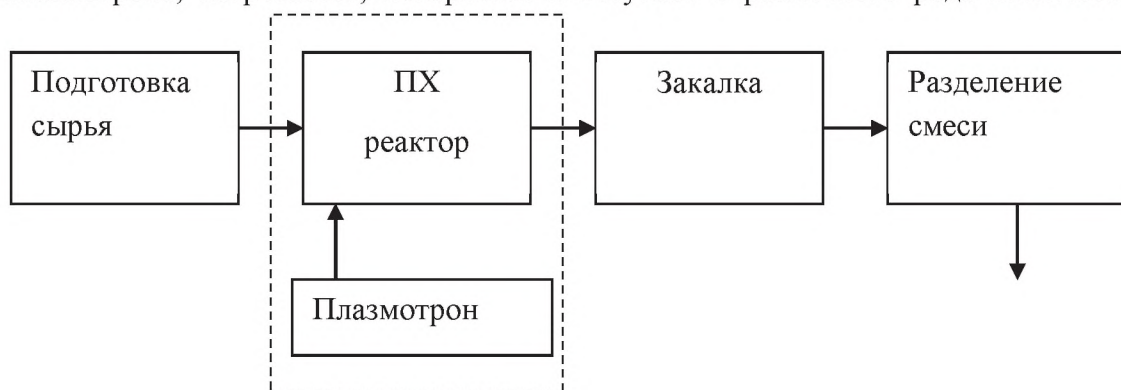


Рис.1. Схема технологии плазмохимической переработки сырья.

Нередко плазма образуется в том же ПХ реакторе (совмещенный реактор – плазмотрон). [1]

Продукты реакций охлаждаются и разделяются. Часто охлаждение производится с очень высокой скоростью (закалка):  $10^4$ – $10^8$ К/с. Задача закалки состоит в сохранении тех продуктов, которые получились при высоких температурах и которые при охлаждении могут либо разложиться, либо вступить в другие химические реакции в процессе охлаждения. С помощью закалки можно получать вещества в метастабильном состоянии, отличающемся от нормального состояния (структурой, электрическими, термическими и другими свойствами).

Конверсия органических материалов в синтез-газ (конвертированный газ), состоящим из СО и Н<sub>2</sub>. является одним из классических (традиционных) направлений ПХ переработки. В настоящее время, синтез-газ можно получить, и получают без всякой плазмы обычным процессом сжигания [3]. Однако, в отличие, от таких методов плазменный метод позволяет обеспечить низкое содержание СО<sub>2</sub> и Н<sub>2</sub>О в продуктах конверсии или полное их отсутствие, и таким образом исключить дорогостоящую операцию очистки там, где синтез-газ требуется достаточно чистым, например, в органическом синтезе, в металлургии и др.

При плазменном пиролизе, благодаря высоким температурам, реализуемым в зоне реактора, продукты пиролиза состоят из газовой составляющей и твердых остатков без образования жидких продуктов. Степень превращения органического сырья в целевые продукты при этом близка к 100%. Причем в газообразных продуктах отсутствуют смолы, фенолы и углеводороды, загрязняющие продукты обычной газификации сырья. [1]

Большим достоинством ПХ процесса является возможность широкого варьирования соотношения СО:Н<sub>2</sub> в конечных продуктах. Так при использовании в качестве плазмообразующего газа водяного пара получается пирогаз с высоким содержанием водорода, а в случае использования кислорода, воздуха или парокислородной смеси в конечных продуктах высоко содержание СО. Это обстоятельство создает возможность сразу в процессе пиролиза получать требуемые соотношения в смеси СО и Н<sub>2</sub>, в зависимости от дальнейшей ее переработки в технологиях, использующих данную смесь как исходное сырье. [1]

ПХ конверсия углеродсодержащего сырья в синтез-газ протекает в несколько стадий [3]:

1. Нагрев частиц сырья до температуры разложения.
2. Деструкция частиц с выделением части продуктов в газовую фазу и образование коксового остатка.
3. Превращение выделившихся в газовую фазу продуктов в условиях высоких температур.
4. Нагрев частиц кокса до температуры начала реакции газ-твердое тело и протекание самих реакций (гетерогенные) частиц с газообразными и плазмообразующим газом.

Сырье в процессе конверсии может быть использовано полностью, то есть степень превращения органической части сырья может достигать 100%.

Существующие ПХ-методы имеют и свои недостатки. Одним из основных является относительно небольшой ресурс работы генераторов плазмы (плазмотронов), а точнее их электродов – около сотни часов. Также минус – потребление электроэнергии в больших количествах.

### Примеры устройства ПХ-реакторов

Плазмохимические процессы переработки угля осуществляются либо как одностадийные процессы, когда плазмообразующий газ и порошок угля подаются совместно в зону горения (совмещенный плазмотрон-реактор), либо как двухстадийные с отдельной подачей плазмообразующего газа и порошка угля. Во втором случае плазмообразующий газ подается в зону горения дуги, а порошок угля в газе-носителе - в высокотемпературный поток плазмообразующего газа на выходе из генератора плазмы. [2]

Одно- и двухстадийные плазмохимические процессы имеют свои достоинства и недостатки. В одностадийных процессах производительность реактора ограничена мощностью плазмотрона. Однако в этом случае легче решаются проблемы смешения дисперсного материала с плазмообразующим газом и нагрева его до высоких температур за счет непосредственного воздействия дуги.

В двухстадийных процессах проблема перемешивания решается труднее, но процесс может быть организован таким образом, что на один реактор будет работать несколько электродуговых плазмотронов, вмонтированных в крышку реактора или его боковые стенки (рис. 2). [3]

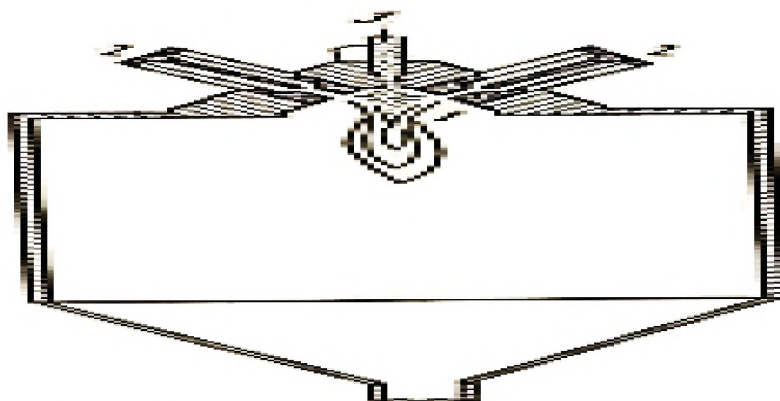


Рис. 2. Многодуговой плазмохимический реактор.  
1 - дуга; 2 - плазмотроны; 3 - подача угля [3]

Примером совмещенного плазмотрона-реактора может служить установка созданная фирмой "AVCO" (рис. 3). Уголь в кипящем слое водорода подается в зону реакции через серию отверстий, расположенных концентрически вокруг катода. Катодом служит охлаждаемая водой медная трубка с торированным вольфрамовым наконечником, анод - полый, медный.

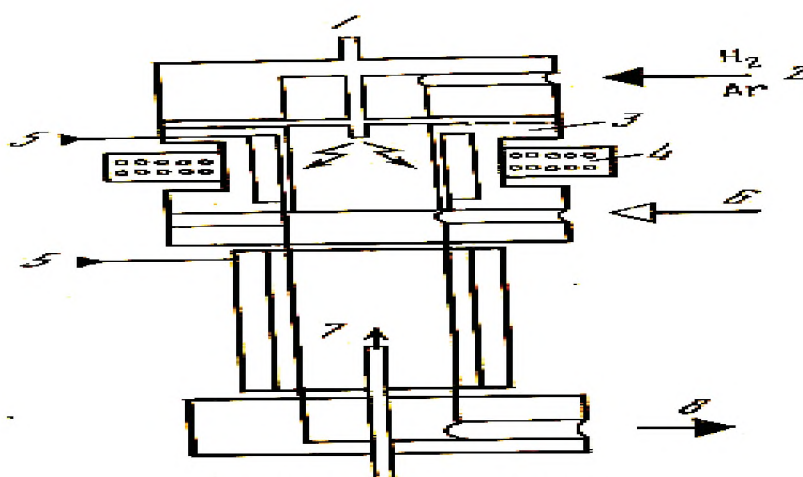


Рис. 3. Реактор фирмы "Avco"

1 - катод; 2 - кольцевой анод; 3 - подача угля и водорода; 4 - магнитная катушка; 5 - зона вращения дуги; 6 - реактор; 7 - зона закалки; 8 - газовые продукты [3]

Существует оригинальная конструкция реактора с трехфазной дугой, которая горит между стержневыми электродами и корпусом (рис. 4). Принцип работы основан на несущей способности электрических дуг. Электромагнитная катушка создает продольное постоянное магнитное поле. Под действием силы Лоренца дуги перемещаются в межэлектродном пространстве и перекрывают сечение камеры высокотемпературной зоной. Из-за разности аэродинамического сопротивления у стенки и электродов при движении дуговые столбы расширяются, и в них возникают плазменные потоки по направлению к стенке. [3]

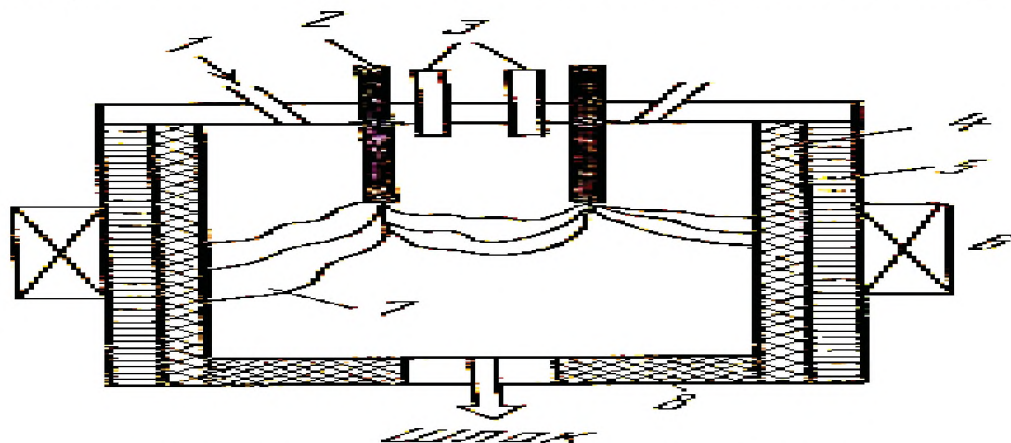


Рис. 4. Плазменный реактор с несущей способностью дуги

1 - подача пылеугольной смеси; 2 - графитовые электроды; 3 - подача пара; 4 - кольцевой графитовый электрод; 5 - корпус реактора; 6 - электромагнитная катушка; 7 - дуга; 8 - графитовая диафрагма [3]

Во всех перечисленных плазмотронах и реакторах используются твердые электроды (графитовые, либо металлические). При этом возникает проблема их эрозии.

Гораздо более выгодно использование жидкометаллических электродов, которые можно пополнять, используя, например, мелкий металлический лом. Первым шагом было использование одного жидкого электрода (рис. 5).

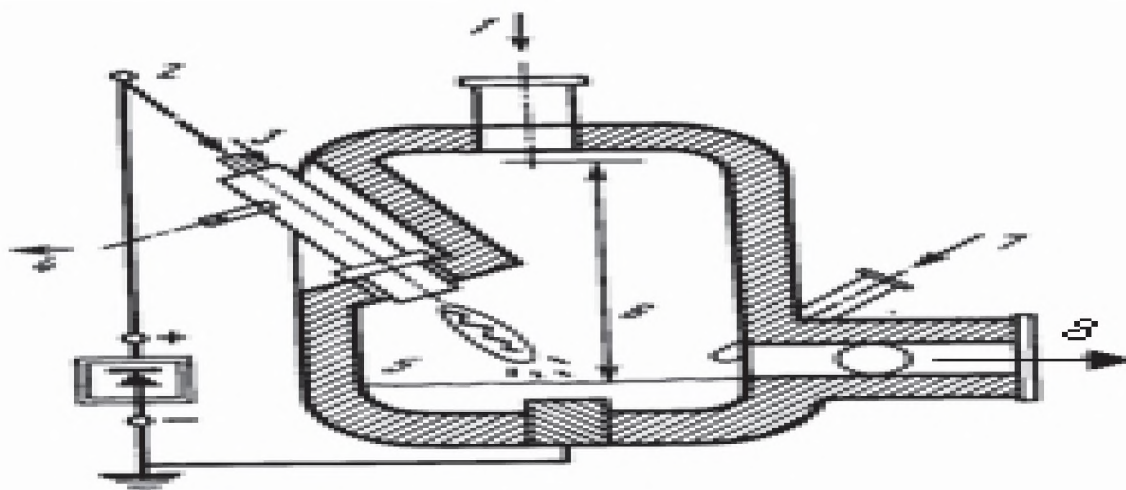


Рис.5. ПХ-реактор с расплавом стали: 1–4 – подача угля (размер зерен 1.8 см), воды, азота и воды соответственно; 5 – расплав стали; 6 – зона выделения летучих; 7 – пар; 8 – газовый продукт [1]

Но оставалась проблема эрозии катода. Затем была предложена принципиально новая идея – сделать оба электрода жидкометаллическими. (рис. 6)

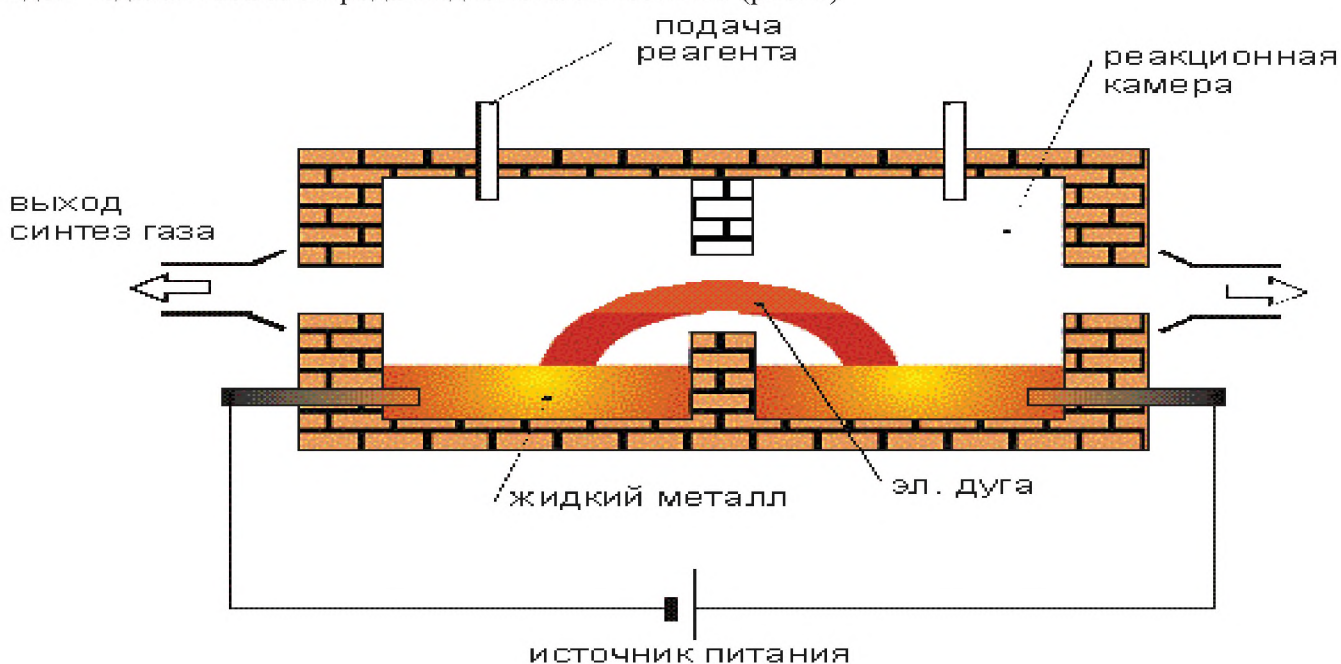


Рис. 6. Схема плазмотрона-реактора с жидкометаллическими электродами.

Электроды разделены огнеупорной диэлектрической стенкой. Плазмообразующий газ, в качестве которого используется водяной пар, вводится в канал. Конструкция канала обеспечивает вихревое течение газа, что позволяет стабилизировать дугу на оси канала.

При взаимодействии электрической дуги с поверхностью расплавленного металла происходит испарение металла. Унос материала электрода, связанный с испарением, незначителен по сравнению с массой расплавленного металла. Поэтому использование жидкого металла в качестве электродов позволяет реализовать полезные для практики преимущества: практически неограниченный ресурс работы электродов, повышение КПД (т.к. нет отвода тепла через охлаждение электродов).

Рассмотренные выше плазмохимические технологические процессы имеют и свои недостатки. Одним из основных является относительно небольшой ресурс работы генераторов плазмы (плазмотронов), а точнее их электродов – около сотни часов. Другой

минус, как в последних примерах – потребление электроэнергии в больших количествах. Другая сторона проблемы в процессах с применением электродугового или СВЧ-разряда с газодинамической стабилизацией и транспортировкой обрабатываемого материала это то что, продолжительность химических реакций в потоке плазмы не более  $10^{-2}$  с.

Существует, однако, большое количество процессов, в которых для полного превращения исходные компоненты необходимо выдерживать в течение длительного времени (минуты, часы) при высоких температурах.

Кроме этих недостатков электродуговые плазматроны ограничены в области применения плазменного воздействия на жидкие среды, хотя переработка веществ находящихся в жидком состоянии более перспективна.

Жидкие продукты имеют ряд преимуществ по сравнению с твердыми продуктами, которые особенно проявляются при их транспортировании, хранении и использовании.

Высокоразвитые страны вкладывают большие средства в совершенствование плазменных технологий, что обусловлено рядом их преимуществ перед традиционными способами. Это происходит за счет использования устройств генерирующих плазму, обладающую высокой температурой и ионизирующим полем. Оказываемое мощное энергетическое воздействие на обрабатываемые вещества, позволяет значительно интенсифицировать скорости протекания химических реакций. При этом устройства и аппараты плазмохимических процессов становятся значительно проще, что позволяет уменьшить габариты установок [1].

Одним из перспективных направлений исследований является изучение и разработка СВЧ плазматронов для регулируемого плазменного воздействия на процесс пиролиза углеводородсодержащего сырья для фракционного разделения многокомпонентной жидкой среды.

Как известно, в качестве исходного сырья для пиролиза могут использоваться растительная биомасса, твердое ископаемое топливо, промышленные и бытовые отходы.

Основанием для разработки данной технологии явились эксперименты в лабораториях по крекингу тяжелых фракций нефти – мазута и пиролизу биомасс на СВЧ плазматроне собственной конструкции. Результаты экспериментов по крекингу мазута приведены в статье [4]. Кратко их приведем в иллюстрациях. Принципиальная схема способа и устройства регулируемого плазменного воздействия на процесс крекинга тяжелых фракций углеводородов представлена на рис.7. и представляет собой прямоугольный аппарат резонатора 1, имеющий технологические сквозные пазы 11, проходящий через них керамическую трубку 12, с конусом или трапецией 2, удерживающим плазму 14, регулятором воздействия плазмы 3 и наклона керамической трубки 4, дросселем 5 регулирования подачи материала в зону обжига, насоса 6 подачи материала, электрического двигателя 7 и привода 8 вращения керамической трубки, тройника 10 разделения воздушной части 13 паров и жидкой части или обожженного материала 9.

Преимущества предлагаемого способа и устройства регулируемого плазменного воздействия на процесс крекинга тяжелых фракций углеводородов заключаются в увеличении диапазона температуры регулируемого плазменного воздействия на жидкие вещества, достижение равномерности воздействия плазмы на материал, управляемости времени прохождения материала в зоне плазмы, возможности фракционного разделения компонент жидких веществ по температуре парообразования, простоте схемы.

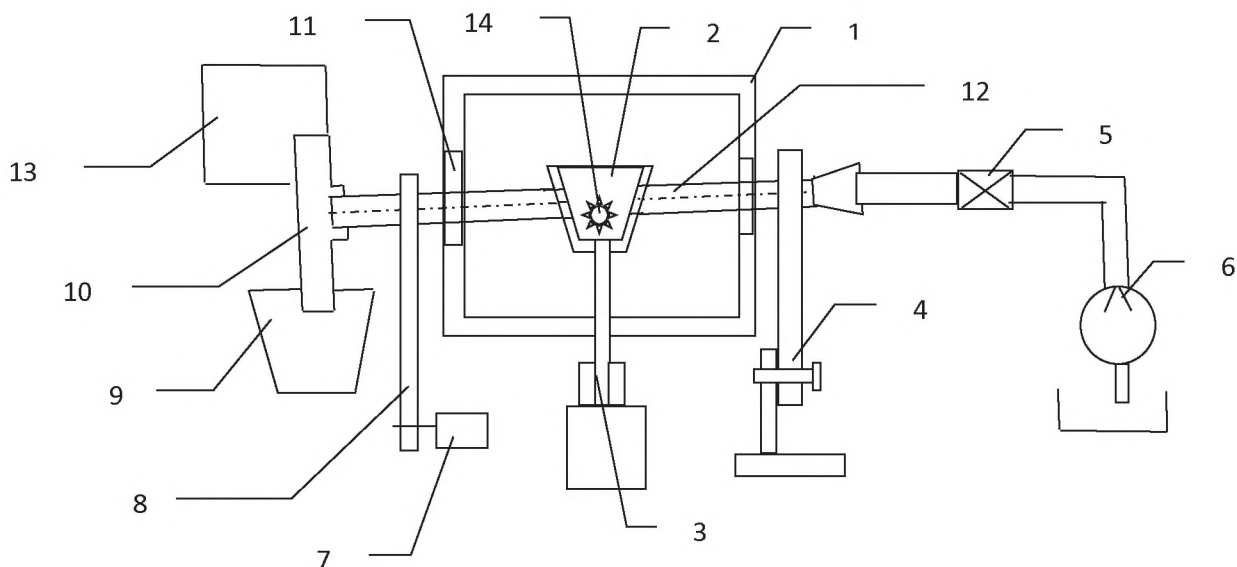


Рис. 7. Принципиальная схема способа и устройства регулируемого плазменного воздействия на процесс крекинга тяжелых фракций углеводородов.

Работу предлагаемой схемы поясним на снимке рис. 8, произведенном при проведении эксперимента пиролиза тяжелых фракций нефти, мазута. Насосом 1 подается мазут в плазматрон 2 и на выходе тройником 3 производится разделение потока на газообразную (парообразную) часть через магистраль 5, и твердую (жидкую) часть через магистраль 4. В нашем случае для демонстрации получения из мазута горючих газов на выходе парообразного потока установили стеклянную трубку и газы подожгли. Крекинг нефтепродуктов представляет собой дополнительный источник получения светлых нефтепродуктов: бензина, солярки, ароматических углеводородов и т.д.



Рис. 8. Фотография эксперимента пиролиза мазута в плазменной среде

Данную схему плазменного воздействия на жидкие среды (рис.7.) мы предлагаем внедрить в технологическую схему подготовки пиролизной жидкости к газификации [5], с целью повышения степени измельчения (диспергацию). На рис.1. в схеме технологии плазмохимической переработки в стадии подготовки сырья предусмотреть технологическую операцию СВЧ плазменной обработки предварительно измельчённых органических веществ в жидкой среде, с целью повышения диспергирования и предварительного расщепления биомасс.

В основной операции плазмохимического процесса пиролиза биомасс предлагается следующая схема использования разработанного СВЧ плазматрона.

Для переработки углеводородсодержащего сырья в синтезированное топливо в сухом, полужидком и жидком состоянии нами предлагается схема горизонтальной подачи материалов в зону плазменного воздействия СВЧ плазматрона. На рис.9 дана принципиальная схема организации переработки методом пиролиза углеводородсодержащего сырья в синтезированное топливо. Она состоит из следующих узлов: 1 – бункер; 2 – шнек; 3 – пробка; 4 – привод шнека; 5 – направляющая керамическая трубка; 6 – муфта; 7 – керамическая трубка реактора; 8 – конусная керамическая разрядная камера; 9 – зона плазменного воздействия; 10 – СВЧ плазматрон с резонаторной камерой; 11 – распределительная камера; 12 – емкость сбора газообразных фракций пиролиза; 13 – емкость сбора жидких и твердых фракций пиролиза.

Способ работает следующим образом: Предварительно измельченные углероды с песком в сухом, полужидком или жидком состоянии засыпаются в бункер 1 и с помощью шнека 2, имеющего привод 4, подаются по направляющей керамической трубе 5, через муфту 6, в керамическую трубку реактора 7, где в конусной керамической разрядной камере 8 располагается плазмаобразующее вещество с зоной плазменного воздействия 9 резонаторной камеры СВЧ плазматрона 10 и в данной зоне углеводородсодержащее сырье без доступа кислорода подвергается термическому разложению – так называемому быстрому пиролизу и продукты химической реакции через распределительную камеру 11 разделяются на газообразную фракцию в емкость 12 или жидкую и твердую фракцию в емкость 13.

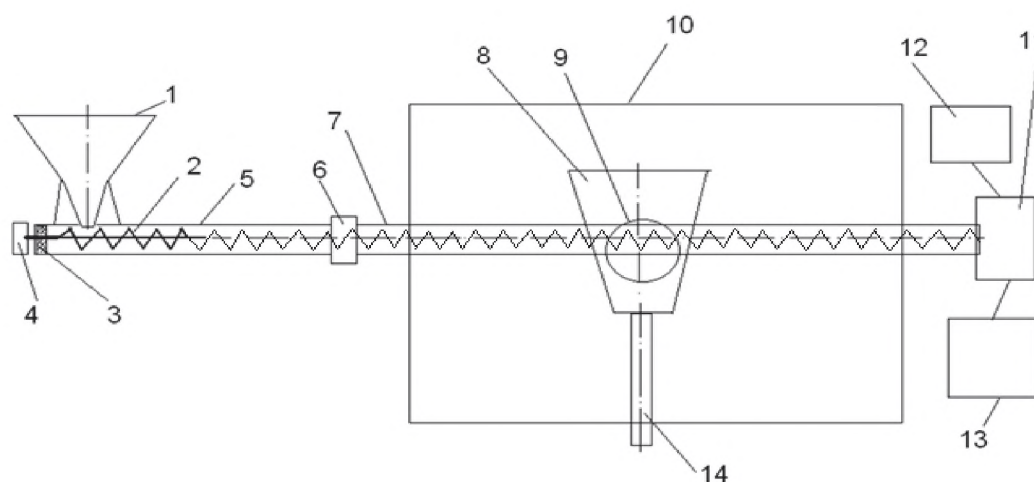


Рис. 12. Схема горизонтальной подачи углеводородсодержащего сырья в зону плазменного воздействия.

Данный метод высокопроизводителен, из-за использования непрерывной схемы подачи материалов и высоких температур плазменного воздействия, требует меньшую производственную площадь, более безопасен для окружающей среды, так как не выделяет дыма и вредных веществ, не потребляет много электроэнергии, позволяет максимально глубоко переработать сырьё, и экономичен.

**Выводы.** Разработанная СВЧ плазменная технология переработки углеводородсодержащего сырья в синтезированное топливо и устройство для ее осуществления, по переработке твердых, жидких многокомпонентных материалов открывает область глубокой переработки технического сырья.



Высокая температура и ионизация технологической среды плазмой увеличивает скорость прохождения химических реакций в разы без применения дорогостоящих катализаторов при пиролизе углеводородсодержащих материалов.

Предлагаемая непрерывная схема подачи сырья в зону плазменного воздействия позволит достичь высоких показателей производительности процесса.

#### Список литературы

1. Бородин В. И. Плазменные технологии. Учебное пособие /В. И.Бородин.-Петрозаводск, ПетрГУ, 2004.
2. Плазмохимическая переработка угля. / М.Ф. Жуков и др. - М.: Наука, 1990.
3. Успехи и проблемы производства альтернативных источников топлива и химического сырья. Пиролиз биомассы /Д.Л. Рахманкулов, Ф.Ш. Вильданов, С.В. Николаева, С.В. Денисов // Башкирский химический журнал.-2008.-Т.15.-№2.-С. 36-52.
4. Способ крекинга тяжелых фракций углеводородов / Самсалиев А.А.. - Машиностроитель 2014.- №4.- Стр35-39
5. Технологическая схема подготовки жидких продуктов пиролиза древесных отходов к газификации /Д.В. Тунцев, Р.Г. Сафин, А.М.Касимов и др. // Вестник Казанского технологического университета.-2013.-Т.16.- №21.-С. 258-260.

УДК 553(0572)

### АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОЦЕНКИ ИНВЕСТИЦИОННОЙ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТИ ПРОЕКТА РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ КУТЕССАЙ - 2

*Таштаналиева Айнура Шаршеневна, ст. преподаватель кафедры «ЭГП» ИГДиГТ имени академика У.Асаналиева КГТУ имени И.Раззакова г. Бишкек пр. Чуй 215 Кыргызстан.  
Таштаналиев Курама Бейшебаевич, зав. кафедрой «ЭГП» ИГДиГТ имени академика У.Асаналиева КГТУ имени И.Раззакова г. Бишкек пр. Чуй 215 kur54@rambler.ru*

В работе предложена алгоритмическое обеспечение оценки инвестиционной привлекательности проекта разработки месторождения Кутессай -2. В качестве целевой функции принимается NPV – чистый дисконтированный доход. Приводится алгоритм решения задачи и результаты проведенных исследований.

Результаты выполненных расчетов свидетельствуют об экономической эффективности разработки месторождения Кутессай-2.

**Ключевые слова:** Дисконтированный доход, инвестиции, инвестиционная привлекательность, финансовая устойчивость, рыночная экономика, целевая функция.

### ALGORITHMIC SUPPORT OF THE EVALUATION OF INVESTMENT ATTRACTIVENESS OF THE PROJECT DEVELOPMENT OF THE FIELD KUTESSAY - 2

*Tashtanalieva Ainura Sharshenovna, senior lecturer in "EGP" IGDIGT Academician  
U.Asanalieva KSTU named I.Razzakova Bishkek Chui Avenue 215 Kyrgyzstan.  
Tashtanaliev Kurama Beyshebaevich, Professor of Department. "EGP" IGDIGT Academician  
U.Asanalieva KSTU named I.Razzakova Bishkek pr. Chui 215 [kur54@rambler.ru](mailto:kur54@rambler.ru)*

In-process offered algorithmic providing of estimation of investment attractiveness of project of working mine of Кутессай- 2. As an objective function NPV is accepted is the net discounted profit. An algorithm over of decision of task and results undertaken studies are brought.