

**Сведения о ходе выполнения проекта по Соглашению № 14.607.21.0077 от  
20.10.2014 г.**

(Руководитель проекта, кандидат физ.-мат. наук Б.В.Потапкин)

1. В ходе выполнения проекта по Соглашению о предоставлении субсидии № 14.607.21.0077 от 20.10.2014 г. (Универсальный идентификатор прикладных научных исследований RFMEFI60714X0077) Минобрнауки в рамках в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса на 2014-2020 годы» по теме «Разработка энергоэффективной и ресурсосберегающей технологии получения химических продуктов, в том числе моторного топлива и ароматических углеводородов, на основе термохимических жидкофазных металло-оксидных циклов» на заключительном этапе 5 «Обобщение результатов исследований» выполнялись следующие работы:

- разработка вариантов схемных и технологических решений, обеспечивающих высокую эффективность энергонапряженных процессов переработки углеродсодержащего сырья в химические продукты за счет их сопряжения с процессом получения синтез-газа с использованием высокотемпературных теплоносителей на основе расплавов металлов.
- разработка проекта технического задания на проведение ОКР по теме: «Разработка опытных образцов оборудования для получения углеводородных топлив, в том числе метанола и моторных топлив, а также концентрата ароматических углеводородов из различных видов углеводородсодержащего сырья через синтез газ, образующийся в реакторе с расплавом металла».
- обобщение и выводы результатов ПНИ.
- разработка рекомендаций по оптимизации процесса газификации углеродсодержащего сырья в синтез-газ.
- разработка технических требований и предложений по производству, получению и эксплуатации продукции с учетом технологических возможностей и особенностей индустриального партнера.
- проведение маркетинговых исследований рынка синтетического моторного топлива и концентрата ароматических углеводородов.

При этом были получены следующие результаты:

Разработаны различные варианты схемных и технологических решений, обеспечивающие высокую эффективность энергонапряженных процессов переработки углеродсодержащего сырья в химические продукты за счет их сопряжения с процессом

получения синтез-газа с использованием высокотемпературных теплоносителей на основе расплавов металлов.

Разработан проект технического задания на проведение ОКР по теме: «Разработка опытных образцов оборудования для получения углеводородных топлив, в том числе метанола и моторных топлив, а также концентрата ароматических углеводородов из различных видов углеводородсодержащего сырья через синтез газ, образующийся в реакторе с расплавом металла».

Проведено обобщение полученных результатов ПНИ.

Разработаны рекомендации по оптимизации процесса газификации углеродсодержащего сырья в синтез-газ.

Разработаны технические требования и предложения по производству, получению и эксплуатации продукции с учетом технологических возможностей и особенностей промышленного партнера.

Проведены маркетинговые исследования рынка синтетического моторного топлива и концентрата ароматических углеводородов.

Проведена разработка трёх вариантов схемных решений, обеспечивающих высокоэффективную реализацию процесса переработки углеродсодержащего сырья в химические продукты на основе процесса получения синтез-газа в расплаве металла: схема с мембранным блоком выделения водорода, схема с реактором сдвига и циклическая схема. Проанализированы режимы работы для пяти видов исходного сырья (нефтешлама, гудрона, угля, древесины и попутного нефтяного газа) и разных видов конечных химических продуктов (метанол, жидкие углеводороды, в том числе моторное топливо и концентрат ароматических углеводородов, а также уксусная кислота). проведённый анализ показал, что для исходного сырья с низким отношением Н:С в диапазоне 0,69 – 1,52 (нефтешлам, гудрон, уголь) наблюдается последовательный рост степени конверсии исходного сырья в конечные продукты по углероду от значений 38-50% до 56-85% при переходе от схемы с мембранным блоком к циклической схеме. Для сырья с высоким отношением Н:С ~ 3 (попутный нефтяной газ) во всех схемах процесс получения синтез-газа протекает в режиме, близком к автотермическому, при этом циклическая схема имеет преимущество перед другими вариантами, обеспечивая как более высокую степень конверсии сырья по углероду около 80%, так и более высокую энергетическую эффективность.

Разработанный проект ТЗ для проведения ОКР предусматривает разработку опытного образца блока газификации углеродсодержащего сырья на основе расплава железа. Разрабатываемый опытный образец должен обеспечивать должен обеспечивать

проведение процесса парокислородной конверсии различных типов бросового углеродсодержащего сырья (техногенные отходы, промышленные и попутные газы, нефтяные отходы, гудроны, мазут, угольные отходы и т.д.) с получением синтез-газа, путем введения сырья в расплав чугуна в атмосфере инертного газа с одновременным отведением выделяющихся газов. Производительность опытного образца расплавного реактора газификации углеродсодержащего сырья по исходному сырью - до 360 кг/час (в угольном эквиваленте). Выход производимого синтез газа до 1000 м<sup>3</sup>/час.

Обобщение результатов работы проводилось по результатам выполненных исследований:

- процессов расплавной технологии газификации углеродсодержащего сырья;
- процессов переработки получаемого синтез – газа в химические продукты, в том числе метанол и моторные топлива;
- разработки схемных и технологических решений процесса переработки углеродсодержащего сырья в химические продукты.

В рамках обобщения полученных результатов и с целью разработки конкретных рекомендаций по проведению процессов газификации в расплаве металла для твёрдых видов сырья, проведены дополнительные расчёты по кинетике разложения и газификации частиц сырья при нагревании в расплаве металла. Сформулированы основные выводы из полученных результатов ПНИ. Результаты использованы для разработки «Рекомендаций по оптимизации процесса газификации углеродсодержащего сырья в синтез-газ» а также «Технических требований и предложений по производству, получению и эксплуатации продукции с учетом технологических возможностей и особенностей индустриального партнера».

В результате выполнения работ по проекту создан научно-технический задел для дальнейшего развития технологий получения химических продуктов на основе газификации различных видов углеводородсодержащего сырья в расплаве металлов. Технология будет применяться для совершенствования процессов нефтепереработки, нефтехимического и органического синтеза, при добыче и переработке угля и обеспечит расширение сырьевой базы для производства ценных химических продуктов, в том числе моторного топлива и ароматических углеводородов, а также снижение зависимости потребителей от колебаний цен на нефтегазовом рынке.

Выполненные работы могут служить основой для НИОКР, направленных на разработку и создание установок по производству жидких углеводородов, в том числе на основе разрабатываемого в рамках настоящей работы Проекта технического задания на проведение ОКР по теме: «Получение углеводородных топлив, в том числе метанола и

моторных топлив, а также концентрата ароматических углеводородов из различных видов углеводородсодержащего сырья через синтез газ, образующийся в реакторе с расплавом металла».

2. Полученные результаты использованы для написания двух статей, - статьи «Экспериментальное исследование газификации гудрона в расплаве металла при циклической подаче в реактор углеродсодержащего сырья и окислителя», опубликованная в журнале Химия высоких энергий, 2017. Т 51, № 2, с. 142–146, а также статьи «Получение экологических моторных топлив с низким содержания дурола из метанола и диметилового эфира», опубликованная в журнале Экология и промышленность России. 2017. Т. 21. № 2. С. 20 – 23, а также для подачи заявки на изобретение на «Способ переработки углеродсодержащего сырья в реакторе с расплавом металла» (заявка на патент №2016148681 от 12.12.2016).

3. На этапе 4 роль индустриального партнёра заключалась в софинансировании проекта в необходимом объёме и проведении работы по пункту 5.6 плана-графика исполнения обязательств «Разработка технических требований и предложений по производству, получению и эксплуатации продукции с учетом технологических возможностей и особенностей индустриального партнера».

Все задачи этапа 5 и проекта в целом выполнены в полном объёме и в соответствии с Планом-графиком работ и Техническим заданием Соглашения о предоставлении субсидии № 14.607.21.0077 от 20.10.2014 г.

Комиссия Минобрнауки России признала обязательства по Соглашению на заключительном этапе исполненными надлежащим образом.

---