

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ОСНОВЕ  
ПАРЦИАЛЬНОГО ОКИСЛЕНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА**

**Химико-технологический отдел ИПХФ РАН**

**Арутюнов Владимир Сергеевич, Савченко В.И., Седов И.В.**

Изучение механизма окисления углеводородов было одним из ведущих направлений ИХФ РАН с момента его основания. И современные представления о разветвленно-цепном механизме этих процессов сформировались в значительной степени благодаря трудам нескольких поколений сотрудников Института.

В последние годы, благодаря тому, что именно природный газ становится основным углеводородным ресурсом человечества на ближайшие десятилетия, интерес к повышению эффективности использования природного газа в энергетике и нефтегазохимии быстро растет. Однако высокая прочность химических связей и большое различие в реакционной способности между первыми представителями ряда алканов делают задачу их использования в химии и энергетике достаточно сложной. Существующие газохимические процессы почти на порядок уступают по своей эффективности нефтехимическим процессам, а попутные нефтяные газы продолжают сжигаться в факелах даже там, где ощущается острый дефицит энергии.

В настоящее время на базе проведенных ранее фундаментальных исследований и параллельно с их продолжением в Химико-технологическом отделе приступили к реализации программы создания технологических основ нового поколения газохимических процессов для их промышленного внедрения. Эти работы открывают перспективы создания эффективных процессов малотоннажной газохимии, востребованных в условиях Крайнего Севера и удаленных месторождений России, а также для переработки альтернативных, нетрадиционных и малоресурсных источников отечественного углеводородного сырья. Ниже коротко представлены основные направления работ и полученные результаты.

Подавляющая часть современного производства крупнотоннажных газохимических продуктов: аммиака, метанола, водорода, синтетических углеводородов и топлив осуществляется через стадию превращения природного газа в синтез-газ. На эту сложную энерго- и капиталоемкую стадию приходится до 70% всех затрат на получение указанных продуктов. Повышение эффективности получения синтез-газа – важнейшая задача современной газохимии, в решение которой вовлечены крупнейшие мировые компании

нефтегазового сектора. Однако приемлемых решений до сих пор нет. ХТО совместно с ИХФ РАН разрабатывает принципиально новую технологию матричной конверсии природного газа в синтез-газ. В настоящее время в рамках Соглашения о предоставлении субсидии с Минобрнауки России созданы демонстрационные конверторы атмосферного и высокого давления. В 2015 г. успешно проведены испытания конвертора атмосферного давления с использованием в качестве окислителя атмосферного воздуха, подтвердившие результаты лабораторных исследований и правильность основных концептуальных решений. При расходе природного газа  $6 \text{ м}^3/\text{ч}$  конверсия метана превышает 80% при концентрации синтез-газа 20%. Ведется доработка аппаратов, и к концу этого года планируется создание образца конвертора для передачи сторонним пользователям.

Традиционным направлением наших исследований является процесс прямого окисления метана в метанол под давлением. На базе экспериментальных исследований и кинетического моделирования были разработаны фундаментальные основы парциального окисления природного газа в метанол, предложены новые принципы организации процесса, конструкции реакторов для его осуществления, методы организации циркуляционного процесса, перспективные для применения непосредственно в промышленных условиях. Выполнен большой объем работ по селективному окислению  $\text{C}_2+$  углеводородов в их сложных смесях с метаном. В конце прошлого года в рамках Соглашения о предоставлении субсидии с Минобрнауки РФ мы совместно с ИХФ РАН, ИНХС РАН и ОАО «ЭЛИНП» приступили к разработке комбинированного энергохимического процесса прямой окислительной конверсии природных и попутных газов в метанол, синтетический бензин и электроэнергию.

В последние годы нами активно развиваются исследования окислительного крекинга легких алканов, которые показали значительное различие в температуре окисления различных групп углеводородов и, соответственно, возможность их селективной конверсии непосредственно в составе природного или попутного газа. Показана возможность получения топливных смесей с высоким метановым индексом для промышленных энергоустановок на основе селективного окислительного крекинга и прямого окисления углеводородов  $\text{C}_3+$  в метанол, не затрагивающего сам метан. Предложено новое направление альтернативных GTL-технологий переработки газового углеводородного сырья с получением нефтехимических продуктов с высокой добавленной стоимостью. Главное достоинство этих технологий – отсутствие дорогостоящей стадии конверсии природного газа в синтез-газ, что позволяет рассчитывать на создание рентабельных малотоннажных процессов для применения непосредственно на промыслах.

Таким образом, фундаментальные исследования парциального окисления легких алканов позволили создать новые эффективные процессы малотоннажной газохимии, перспективные для практического использования в отечественных условиях.

#### **Публикации 2015 г. по парциальному окислению природного газа**

1. Arutyunov V.S., Savchenko V.I., Sedov I.V., Fokin I.G., Nikitin A.V., Strekova L.N. New conceptions for small-scale GTL. *Chem. Eng. J.*, 2015. V. 282. P. 206-212.
2. Makaryan, I.; Sedov, I.; Savchenko, V., Platinum Group Metal-Catalysed Carbonylation as the Basis of Alternative Gas-To-Liquids Processes. *Johnson Matthey Technology Review* **2015**, 59 (1), 14
3. Макарян И.А., Берзигияров П.К., Седов И.В., Арутюнов В.С., Савченко В.И. Перспективы производства нефтехимических продуктов с высокой добавленной стоимостью на основе GTL процессов нового поколения. *Мир нефтепродуктов*. 2015. №7. С. 4-17.
4. Фокин И.Г., Шатунова Е.Н., Савченко В.И., Арутюнов В.С. Экспериментальное исследование и макрокинетическое моделирование парциального газофазного окисления пропана. *Химическая физика*, 2015 (в печати).
5. Алдошин С.М., Арутюнов В.С., Савченко В.И., Седов И.В., Макарян И.А. Новые горизонты малотоннажной газохимии. *Вестник РАН*, 2016 (в печати).
6. Savchenko V.I., Arutyunov V.S., Fokin I.G., Nikitin A.V., Sedov I.V., Makaryan I.A. Oxidative conversion of wet and associated gases into fuels for power plants. *J. Nat. Gas Sci. Eng.*, 2016 (в печати).
7. Никитин А.В., Дмитрук А.С., Арутюнов В.С. Влияние давления на окислительный крекинг легких алканов C<sub>2</sub>-C<sub>4</sub>. *Известия РАН, сер. хим.*, 2016 (в печати).

#### **Патенты**

1. Арутюнов В.С., Шмелев В.М., Шаповалова О.В., Рахметов А.Н. Способ получения синтез-газа. Патент RU 2554577 Приоритет от 15.03.2013 **Опубликовано: 27.06.2015.**
2. Савченко В.И., Фокин И.Г., Арутюнов В.С., Седов И.В. Способ переработки природных и попутных газов. Патент RU 2538970. Приоритет от 26.06.2013. **Опубликовано 10.01.2015.**
3. Савченко В.И., Фокин И.Г., Арутюнов В.С., Седов И.В., Липилин М.Г. Способ получения эфиров гликолевой кислоты. Патент RU 2538971. Приоритет от 26.06.2013. **Опубликовано 10.01.2015.**
4. Савченко В.И., Фокин И.Г., Арутюнов В.С., Седов И.В., Магомедов Р.Н., Белов Г.П., Никитин А.В. Способ переработки природных и попутных газов. Патент RU 2551678. Приоритет от 14.11.2013. **Опубликовано 27.05.2015.**
5. Савченко В.И., Арутюнов В.С., Никитин А.В., Магомедов Р.Н., Седов И.В., Фокин И.Г. Способ получения метилпропионата и метилметакрилата. **Заявка на патент № 2014121529 от 28.05.2014 г.** (Решение о выдаче патента от 13.01.2016 г.)
6. Савченко В.И., Арутюнов В.С., Никитин А.В., Седов И.В., Фокин И.Г., Бевз А.П., Чернышев И.А. и др. Устройство для получения синтез-газа. **Заявка на полезную модель №2015143326 от 13.10.2015.**