

## Фундаментальный базис инновационных технологий нефтяной и газовой промышленности

*Вступительная статья к 35-летию ИПНГ РАН*

**А.Н. Дмитриевский**

Институт проблем нефти и газа РАН, Москва, Россия

E-mail: a.dmitrievsky@ipng.ru

**Аннотация.** Дальнейшее развитие нефтяной и газовой промышленности России в значительной мере зависит от создания новых инновационных технологий. В статье рассматриваются достижения ученых Института проблем нефти и газа РАН и других академических институтов в области создания передовых научно-технических и технологических решений, обеспечивающих повышение эффективности поиска, разведки и разработки нефтяных, газовых и газоконденсатных месторождений, а также предложения по развитию методов мониторинга нефтегазотранспортных магистралей и нефтегазохимии.

**Ключевые слова:** нефтяная и газовая промышленность, инновационные технологии, Энергетическая стратегия России, нефтегазовые ресурсы, разработка месторождений, ИПНГ РАН

**Для цитирования:** *Дмитриевский А.Н.* Фундаментальный базис инновационных технологий нефтяной и газовой промышленности // Актуальные проблемы нефти и газа. 2023. Вып. 3(42). С. 16–23. <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2023-42.art1>

Почти 30 лет назад была разработана и утверждена программа «Фундаментальный базис инновационных технологий нефтяной и газовой промышленности», в реализации которой в разные годы принимали участие 28 академических институтов. Координатор программы – Институт проблем нефти и газа РАН. Фундаментальные, ориентированные и прикладные исследования, выполненные при реализации программы, вошли в технологический блок ресурсно-инновационной стратегии развития экономики России. В проекте Энергетической стратегии России на период до 2035 года «в качестве центральной идеи определен переход от экспортно-сырьевой к ресурсно-инновационной стратегии развития экономики страны».

Инновационные технологии, созданные учеными Российской академии наук, являются еще одним серьезным конкурентным преимуществом нашей страны.

Фундаментальные работы ученых академических институтов охватывают широкий спектр научных исследований от проблем происхождения нефти, закономерностей формирования крупных и гигантских нефтяных и газовых месторождений до обоснования механизмов образования энергоактивных и флюидонасыщенных зон Земли, солитонных механизмов транспорта эндогенной энергии и флюидов и реализации масштабных процессов динамики и дегазации Земли (ИПНГ РАН, ФИАН, ИФЗ РАН).

Большое внимание уделено исследованию взаимодействия эндогенных и экзогенных процессов, что позволило обосновать промышленную нефтегазодобычу больших глубин (8–10 км). Проведено 7 международных конференций, охвативших самые различные аспекты генезиса нефти, проблемы энергетики, динамики и дегазации Земли.

Энергоактивные (ИПНГ РАН) и флюидонасыщенные (ИФЗ РАН) зоны обнаружены на глубинах 50–55, 100–120, 150–200–250 км, выявлено их влияние на формирование энергетического потенциала и флюидное содержание коровых волноводов, установленных на глубинах 10–12–15 км и реже – 18–20 км. Механизм дилатансии и компаксии определяет режим «работы» коровых волноводов, флюидные потоки которых, устремляясь в верхние горизонты земной коры, собирают микронепть в залежи.

Этот механизм по-новому объясняет миграционные процессы, когда микронепть активными флюидными потоками собирается в промышленные залежи, часто характеризующиеся аномально высокими пластовыми давлениями. Этот же механизм определяет полигенность месторождений нефти и газа.

Энергетическая и флюидодинамическая активность обусловила формирование гигантских залежей углеводородов Астраханского карбонатного массива. Скважина Д-2, заложенная по предложению ученых ГИН РАН и ИПНГ РАН в пределах лицензионного участка ОАО «Газпром» в 2001 году, вскрыла девонские отложения, и с глубины около 7,0 км был получен фонтан нефти. Залежь характеризуется аномально высокими пластовыми давлениями (1450 атм). Пробуренная скважина законсервирована в ожидании масштабной промышленной разработки. Скважины, пробуренные на центральном и правобережном участках Астраханского массива, привели к открытию двух месторождений газа в отложениях среднего карбона. Эти работы отмечены премией ПАО «Газпром» в 2010 г.

Выполненные научные работы и положительные результаты исследований позволили обосновать возможность бурения самой глубокой на планете скважины.

Решение о бурении скважины глубиной 15,0 км в 2014 году подписали президенты России и Казахстана. Следует подчеркнуть, что все исследования по геолого-геофизическому обоснованию и проектные работы по бурению сверхглубокой скважины выполнены учеными Геологического института РАН и Института проблем нефти и газа РАН.

Под руководством и при участии ученых академических институтов, начиная с 90-х годов была выполнена государственная экспертиза практически всех реализуемых в настоящее время проектов нефтяной и газовой промышленности.

Открыты 12 месторождений нефти и газа. Созданы эффективные технологии освоения нефтегазовых ресурсов в сложных горно-геологических и природно-климатических условиях. Эти работы отмечены присуждением двух Государственных премий. Весомый вклад внесен в изучение геологического строения и нефтегазоносности регионов Крайнего Севера, Восточной Сибири и республики Саха (Якутия) (Объединенный институт геологии, геофизики и минералогии СО РАН, ИПНГ РАН).

Месторождение матричной нефти, ресурсы которой превышают 2,5 млрд т, открыто в пределах действующего Оренбургского газоконденсатного месторождения, добыча газа на котором ведется с 1973 года. Это одно из крупнейших в мире месторождений, открытых за последние 20–25 лет. Матричная нефть – это карбонатный аналог сланцевой нефти, переработка и высокие передельные показатели которой позволяют получать высокоценную и остродефицитную на мировом рынке продукцию – редкие и редкоземельные металлы, углеродное волокно, новое поколение катализаторов, нанотрубки, наносорбенты, новые композиционные материалы (ИНХС РАН, ИПНГ РАН).

Детальные исследования фациальных и палеогеографических условий осадко-накопления, литологического и геохимического состава пород, исследование органического вещества и керогена, особенностей формирования высокомолекулярных компонентов позволили выявить аморфные и кристаллические минерально-органические полимеры, преобразование которых «in situ» привело к формированию очагов матричной нефти.

Создано новое поколение технологии «Темпоскрин-Люкс», обеспечивающее эффективную добычу легкой маловязкой нефти из обводненных месторождений (ИПНГ РАН, ОАО «Атомбиотех»). Технология готова к немедленной реализации. Прежние два поколения реагента показали свою эффективность на месторождениях всех основных нефтедобывающих регионов России. Немедленное начало реализации технологии позволит обеспечить дополнительное получение 100,0 млн т нефти. Себестоимость добычи нефти – 1,2 долл. за баррель. Эта самая дешевая нефть в мире, за исключением новых месторождений, где нефть добывается фонтанным способом.

В 2013 году ученые института выиграли тендер и обосновали технологические решения по эффективной разработке нефтяной оторочки совместно с газоконденсатными объектами гигантского Чаяндинского нефтегазоконденсатного месторождения.

Мы активно используем результаты фундаментальных исследований прошлых лет. Академик С.А. Христианович предложил реализовать депрессионные эффекты для улучшения проницаемости призабойной зоны. Этот процесс он назвал «георыхление». Детальное обоснование процесса выполнил академик Д.М. Климов

(Институт проблем механики РАН). Академик В.А. Глухих и академик Я.Б. Зельдович дали теоретическое обоснование процессам, связанным с реализацией плазменно-импульсного воздействия. Специалисты ОАО «Новас» П.Г. Агеев и Н.П. Агеев использовали эти разработки для воздействия на призабойную зону продуктивного пласта при бурении вертикальных скважин. Ученые ИПУ РАН и ИПНГ РАН предложили объединить эти процессы, т. е. георыхление и плазменно-импульсное воздействие, с целью интенсификации процессов нефтедобычи, что обеспечивает значительно больший технологический эффект.

В настоящее время совместно с ОАО «Новас» мы завершаем работы по созданию технологии, заменяющей американскую технологию многостадийного гидроразрыва, используемую при добыче сланцевой нефти. Как известно, технология имеет серьезные экологические ограничения. Именно по этой причине она не получила распространения, и, в частности, и в Европе. Плазменно-импульсная технология экологически абсолютно «чистая» и имеет лучшие экономические параметры.

Академик С.А. Христианович и профессор Ю.П. Желтов в 1953 году впервые изложили теоретические основы бурения горизонтальных скважин. Эта технология получила масштабное развитие и успешно стала использоваться компаниями. Реализация этой технологии в нашей стране задержалась более чем на 50 лет и ее использование началось в связи с приходом в нефтегазовый комплекс России западных компаний. Совместно с инновационной компанией «Проксима-ойл» совершенствуется отечественная технология горизонтально-разветвленного бурения скважин.

Совместно с Институтом нанотехнологий (Канада) создана магнитная технология добычи трудноизвлекаемых запасов вязкой нефти. Фундаментальные исследования позволили установить, что вязкость нефти определяется наличием в ней фрактальных агрегатов, которые часто содержат дисперсное железо. При воздействии переменным магнитным полем фрактальные агрегаты разрушаются, вязкость нефти снижается, что обеспечивает значительное повышение коэффициента нефтеотдачи самой распространенной среди трудноизвлекаемых запасов категории нефти.

Созданы технологии сепарации метана, основанные на сверхзвуковых и криогенных эффектах, что обеспечивает эффективное и экологически безопасное освоение сероводородосодержащих газовых и газоконденсатных месторождений, ресурсы которых только на юге Прикаспийской впадины составляют 5,4 трлн м<sup>3</sup>. 8 малогабаритных установок заменяют Астраханский газоперерабатывающий завод, но их стоимость при 100%-ной экологической безопасности в 180–200 раз дешевле (ИПНГ РАН).

Разработаны реагенты, которые в результате реализации эффектов самоорганизации укрепляют призабойную зону, что позволяет увеличить депрессию на продуктивный пласт и интенсифицировать добычу низконапорного газа. Созданная технология дает возможность продлить на многие десятилетия сроки эффективной эксплуатации Уренгойского, Ямбургского, Медвежьего месторождений с запасами газа более 5,0 трлн м<sup>3</sup> (ИПНГ РАН).

Изучение природных факторов и явлений позволило разработать рекомендации по мониторингу состояния

магистральных нефте- и газопроводов и выявлять опасные зоны и участки, где наиболее часто происходят аварии (геодинамическая активность недр, эманиции глубинных агрессивных газов, электромагнитные и тепловые аномалии, физические поля Земли и т. п.). Эти исследования позволили разработать рекомендации по диагностике транспортных систем, их своевременному и адресному ремонту специализированными организациями, что позволит продлить нормативный срок службы 70% нефтегазопроводов в 1,5 раза (на 12–15 лет).

Научным центром института совершенствуется созданная ОАО «Криокор» технология дистанционной магнитной томографии состояния внутринефтепроводных систем, продуктопроводов и магистральных нефте- и газопроводов на участках, где невозможна внутритрубная диагностика (участки, где сохранились старые трубопроводы с внутритрубными сварными швами, участки пересечения местности с резкими изгибами трубы, затрудняющие прохождения диагностического снаряда и т. п.) В связи с большим объемом работ (более 1,0 млн км) разработана и находится в стадии апробации технология, предусматривающая использование дронов, оснащенных соответствующим приборным оборудованием для диагностики дефектов методами магнитной томографии.

Совместно с норвежской компанией «Statoil» разработана технология морского транспорта сжатого газа. Завершаются исследования по созданию новых сорбционных материалов, обеспечивающих значительное увеличение объема транспортируемого компримированного газа.

Совместно с научным центром Курчатовского института проводятся исследования по изучению использования эффекта сверхпроводимости для транспорта больших объемов энергии. Разработаны принципиальные основы технологии, в соответствии с которой сверхпроводник, обеспечивающий без потерь транспорт электроэнергии, помещается в сжиженный метан.

Научные исследования показали, что на глубинах, превышающих 700–800 м, углекислый газ переходит в особое состояние. При этом сохраняются свойства его как газа, но плотность его увеличивается и значительно превышает плотность метана в 5 раз. Разработаны рекомендации по эффективной эксплуатации подземных хранилищ газа и обоснована возможность использования  $\text{CO}_2$  в качестве буферного газа, что значительно сокращает затраты на создание и эксплуатацию ПХГ.

Развитие нефтегазовых технологий в области добычи новых видов углеводородного сырья является основой для реализации технологий высоких переделов нефтепереработки и нефтехимии, обеспечивающих выход на рынок высокомаржинальной продукции, пользующейся значительным спросом как в России, так и на мировом рынке. Следует указать на несколько направлений развития технологий в данной области. Первое из них связано с созданием новых процессов переработки тяжелого углеводородного сырья, такого как гудрон. Здесь прорывное значение имеет процесс гидроконверсии тяжелого сырья различного вида на наноразмерных катализаторах, разработанного в Российской академии наук (ИНХС РАН, ИПХФ РАН). Этот процесс не только позволяет реализовать практически безостаточную переработку сырья в дистиллятные фракции

(выход до 95%), но и обеспечивает производство концентрата цветных металлов с использованием сверхадиабатической газификации. Таким образом, удается перевести в полезные продукты наименее ценную часть нефти. Особое значение данный процесс имеет при переработке матричной нефти, поскольку позволяет выделить весь спектр ценных металлов, содержащихся в ней (ИПНГ РАН).

Второе важнейшее направление в этой области – создание новых катализаторов для нефтепереработки и нефтехимии, без которых невозможно существование указанных отраслей. Решение этой задачи в рамках работ ряда академических институтов (ИК СО РАН, ИНХС РАН ИППУ СО РАН и др.) имеет важное значение для обеспечения экономической безопасности страны. Высокая импортозависимость в этой области может привести к гигантским потерям в случае введения санкций. Следует отметить, что благодаря работам институтов РАН, наша страна в короткий срок может наладить производство широкого спектра современных катализаторов нефтепереработки и нефтехимии, таких как катализаторы каталитического крекинга, гидроочистки дизельного топлива, гидрокрекинга, риформинга с движущимся слоем, полимеризации этилена и пропилена. Производство катализаторов при соответствующей поддержке может быть развернуто уже к 2018 году.

Существенное значение имеет и третье направление – создание процессов переработки газового сырья в жидкие углеводороды и сырье для нефтехимии. Здесь хотелось бы обратить внимание на процесс, созданный в ИНХС РАН и ИПХФ РАН и прошедший пилотные испытания: получение углеводородов из природного газа через диметиловый эфир.

Предлагается несколько вариантов процесса. Первый предназначен для получения бензинов, причем возможно получение как низкоароматической бензиновой фракции, так и высокооктановых бензинов, удовлетворяющих классу 5 технического регламента (с октановым числом 92 без добавок и с октановым числом 95–98 с использованием специально получаемой добавки). Возможно получение 55 тыс. т бензина из 100 млн м<sup>3</sup> природного газа. Альтернативой бензину в этом процессе может служить нефтехимическое сырье – этилен и пропилен, которые могут быть получены с выходом до 80% из природного газа. Возможно использование и промежуточного продукта – диметилового эфира, как заменителя сжиженных газов или дизельного топлива.

Весомый вклад внесен учеными академических институтов в повышение эффективности освоения нефтегазовых ресурсов в сложных горно-геологических и природно-климатических условиях, рационального природопользования и охраны окружающей среды (ИГЭ РАН, институты СО РАН). Разработаны рекомендации по экологически безопасному размещению объектов нефтяной и газовой промышленности, в том числе в арктической зоне России (ИПНГ РАН).

Ученые 16 академических институтов 6 отделений РАН в период 2006–2014 гг. приняли участие в исследованиях по программе Президиума РАН «Фундаментальный базис инновационных технологий прогноза, оценки, добычи и глубокой комплексной переработки стратегического минерального сырья, необходимого для модернизации экономики России».

В программе отделения наук о Земле, начиная с 2006 г. по 2014 г., активно участвовали 14 институтов Российской академии наук (координаторы программы

акад. РАН А.Э. Конторович и акад. РАН А.Н. Дмитриевский).

Разработана программа «Возрождение старых нефтегазодобывающих регионов России», которая дает возможность значительно повысить добычу нефти в регионах с развитой инфраструктурой, а также технологии интенсификации добычи нефти. Созданы инновационные технологии эмиссионной сейсмической томографии, диссипативной сейсмометрии, позволяющие выявлять остаточные запасы нефти и газа и установить пропущенные продуктивные горизонты. Программа «Возрождение старых нефтедобывающих регионов России» включена в Федеральную программу «Воспроизводство минерально-сырьевых ресурсов». Исполнителями программы являются ученые 8 академических институтов.

В результате 20-летней работы 28 академических институтов по программе «Фундаментальный базис инновационных технологий нефтяной и газовой промышленности» созданы научно-технические, технологические решения и инновационные технологии, реализация которых совместно с нефтяными и газовыми компаниями позволит внедрить импортозамещающие технологии, в значительной мере нейтрализующие санкции, имеющие целью снизить эффективность работы предприятий нефтегазового комплекса России.

Нефтегазовый комплекс имеет все необходимое для реализации возложенных на него задач. Он по-прежнему обладает крупнейшей в мире минерально-сырьевой базой, развитой инфраструктурой, квалифицированными кадрами, значительным инновационным потенциалом и, что немаловажно, характеризуется масштабным и быстрым возвратом вложенных финансовых ресурсов.

Успешная реализация ресурсно-инновационного развития экономики в значительной мере зависит от создания эффективной системы организации и управления инновационными преобразованиями в нефтегазовом комплексе.

Необходимо обеспечить:

– активное и заинтересованное участие в реализации инновационных технологий нефтяных и газовых компаний страны;

– государственную поддержку повсеместной реализации инновационных нефтегазовых технологий;

– разработку механизмов государственно-частного партнерства, предусматривающих как финансирование важнейших проектов, так и контроль за их реализацией;

– совершенствование налоговой системы, поощряющей реализацию инновационных технологий;

– приоритетное финансирование фундаментальных и поисковых исследований по реализации амбициозных проектов, позволяющих России занять лидирующие позиции в мировой науке;

– приоритетное финансирование научных исследований и конкретных проектов, обеспечивающих технологический

суверенитет нефтяной и газовой промышленности России, создание импортозамещающих технологий и высокую конкурентоспособность на мировом рынке через механизмы Российского научного фонда и Государственной программы развития науки и технологий в Российской Федерации.

Эффективное и целенаправленное внедрение инновационных технологий РАН уже с первого года позволит получить постоянно нарастающий финансовый поток за счет роста нефтегазодобычи и реализации инновационных технологий высоких переделов.

Значительные финансовые ресурсы дадут возможность поддержать развитие инновационных процессов в самых различных, в том числе несырьевых, отраслях экономики. В целом инновационные процессы обеспечат эффективную модернизацию промышленности и реиндустриализацию экономики России.

Инновационные технологии, модернизация и реиндустриализация экономики приведут к системным изменениям не только в нефтегазовой отрасли, но и к положительным преобразованиям в экономике России.

*Статья написана в рамках выполнения государственного задания ИПНГ РАН (тема «Фундаментальный базис энергоэффективных, ресурсосберегающих и экологически безопасных, инновационных и цифровых технологий поиска, разведки и разработки нефтяных и газовых месторождений, исследование, добыча и освоение традиционных и нетрадиционных запасов и ресурсов нефти и газа; разработка рекомендаций по реализации продукции нефтегазового комплекса в условиях энергоперехода и политики ЕС по декарбонизации энергетики (фундаментальные, поисковые, прикладные, экономические и междисциплинарные исследования)», № 122022800270-0).*

#### **Информация об авторе**

*Анатолий Николаевич Дмитриевский* – академик РАН, д.г.-м.н., научный руководитель института, главный научный сотрудник, Институт проблем нефти и газа РАН, Москва, Россия, [a.dmitrievsky@ipng.ru](mailto:a.dmitrievsky@ipng.ru)

**Поступила в редакцию 15.06.2023**

## The fundamental basis of innovative technologies of oil and gas industry

*Introductory article on the 35<sup>th</sup> anniversary of OGRI RAS*

**A.N. Dmitrievsky**

Oil and Gas Research Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

E-mail: [a.dmitrievsky@ipng.ru](mailto:a.dmitrievsky@ipng.ru)

**Abstract.** The further development of the Russian oil and gas industry significantly depends on the creation of the new innovative technologies. The article deals with the achievements of the scientists of Oil and Gas Research Institute of the Russian Academy of Sciences and other academic institutions in the field of creation of advanced scientific, technical and technological solutions for improving the efficiency of prospecting, exploration and development of oil, gas and gas condensate fields, as well as proposals for the development of the methods for monitoring oil and gas transportation routes and petrochemical industry.

**Keywords:** oil and gas industry, innovative technologies, Energy Strategy of Russia, oil and gas resources, field development, OGRI RAS

**Citation:** *Dmitrievsky A.N.* The fundamental basis of innovative technologies of oil and gas industry // Actual Problems of Oil and Gas. 2023. Iss. 3(42). P. 16–23. <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2023-42.art1> (In Russ.).

### ***Information about the author***

*Anatoly N. Dmitrievsky* – Academician of the Russian Academy of Sciences, Dr. Sci. (Geol.-Min.), Scientific Director of the Institute, Chief Researcher, Oil and Gas Research Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, [a.dmitrievsky@ipng.ru](mailto:a.dmitrievsky@ipng.ru)

**Received 15.06.2023**