

Подходы к экономической оценке секвестрации углекислого газа

Череповицын А.Е., д.э.н., профессор, заведующий кафедрой организации и управления, Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»

Ильинова А.А., к.э.н., ассистент кафедры организации и управления, Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»

Смирнова Н.В., к.э.н., доцент кафедры организации и управления, Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»,

Аннотация. Данная работа посвящена вопросу захоронения и повторного использования углекислого газа и экономической целесообразности этих процессов. Представлены подходы к экономической оценке технологий секвестрации, приведена технико-экономическая модель закачки CO_2 в нефтяное месторождение. Приведены формулы для расчета экономической эффективности проектов использования и захоронения техногенного CO_2 в нефтегазовых резервуарах.

Ключевые слова: секвестрация, захоронение, углекислый газ, повышение нефтеотдачи, экономическая оценка

Approachesto the economic assessment of Carbon Capture and Storage

Cherepovitsyn A.E., Professor,
Head of Organization and Management Department,
National University of Mineral Resources «Mining»

Iinova A.A., PhD in Economics, Assistant of Organization and Management
Department, National University of Mineral Resources «Mining»

Smirnova N.V., PhD in Economics, Assistant Professor of Organization and
Management Department, National University of Mineral Resources «Mining»

Annotation. Paper is devoted to the Carbon Capture and Storage (CCS) and economic feasibility of this process. Approaches to the economic assessment of CCS are presented; the technical and economic model of CO₂ downloading to the oil field is given. The formulas for economic efficiency assessment of CCS projects are given.

Keywords: Carbon Capture and Storage (CCS), carbon dioxide, enhanced oil recovery, economic assessment

Введение

По мнению ряда ведущих исследователей по всему миру, техногенная деятельность человека приводит к глобальному изменению климата за счет техногенных выбросов парниковых газов, таких как CO₂, CH₄, N₂O (углекислый газ, метан, оксид азота соответственно), образующихся в результате сжигания топлива на тепловых электростанциях и энергоемких производствах. Исследователи экономически развитых стран предложили способы сокращения эмиссии парниковых газов, к ним, в частности, относятся следующие: повышение энергоэффективности производств, внедрение технологий производства электроэнергии при помощи возобновляемых источников, сокращение доли ископаемого топлива в энергетическом балансе, развитие технологий захвата и захоронения (секвестрации) углекислого газа.

Технологии захвата и захоронения CO₂

Технологии захвата и захоронения техногенного CO₂(ЗЗУ) предполагают улавливание углекислого газа в ходе процесса горения ископаемого топлива и его последующее захоронение в геологических резервуарах.

Применение технологий ЗЗУ в настоящее время находится на начальном этапе развития, в основном реализуются пилотные проекты. Факторы, сдерживающие развитие инновационных технологий ЗЗУ, в первую очередь связаны с экономикой, безопасностью, а также с реакцией общества на долгосрочное захоронение техногенного CO₂ под землей. Экономические барьеры связаны с тем, что технологии секвестрации имеют высокую

первичную инвестиционную емкость и низкую коммерческую привлекательность.

Метод абсорбции CO_2 является наиболее простым с технологической точки зрения и наиболее выгодным с экономической, и, следовательно, наиболее перспективным. В качестве абсорбента используется 30%-й водный раствор моноэтаноламина, получаемый в результате взаимодействия окиси этилена и аммиака (химическая формула $\text{C}_2\text{H}_7\text{NO}$). В абсорбере происходит смешивание дымовых газов и абсорбента, после чего отработанный абсорбент направляется в регенератор, в котором происходит его подогрев. В результате получается практически чистый CO_2 (с концентрацией до 99,95%), а восстановленный абсорбент вновь направляется в абсорбер. Эффективность улавливания при использовании данного метода достигает 85-95%. В зависимости от расположения источника весь собранный CO_2 может транспортироваться трубопроводным, автомобильным или морским транспортом до места захоронения. Такой и другие подобные методы уже достаточно давно используются в развитых странах, в частности, на месторождении Слейпнер в Норвегии [1].

Существует также несколько основных способов захоронения углекислого газа, таких как:

– Захоронение в отработанных и затухающих нефтегазовых месторождениях, когда CO_2 может использоваться для повышения нефтеотдачи (ПНО - CO_2); данная технология позволяет повысить нефтеотдачу посредством снижения вязкости нефти

– Захоронение в глубинных угольных пластах, когда нагнетаемый в пласт CO_2 абсорбируется с углем, вытесняя метан, тем самым повышая его отдачу; такой метод можно применять только для неразрабатываемых угольных пластов

– Захоронение в водоносных слоях и геологических соленых формациях, которое предполагает захоронение в слоях и формациях на глубине более

800 м, имеющих непроницаемый поверхностный слой, с последующим растворением в содержащейся там воде или рассоле

– Захоронение на дне океана.

Возможный экономический эффект секвестрации CO₂

Закачка CO₂ на дно океана, в водоносные слои и геологические формации в принципе не имеет экономического эффекта, только экологический. Захоронение углекислого газа в глубинных угольных пластах также не имеет значительного коммерческого потенциала. Поэтому одним из наиболее предпочтительных способов повышения инвестиционной привлекательности проектов секвестрации является закачка CO₂ в выработанные нефтяные месторождения с целью повышения нефтеотдачи (ПНО-CO₂). Газовое стимулирование пласта, включающее реализацию повсеместной закачки в пласт попутного нефтяного газа, двуокиси углерода и дымовых газов, является одним из наиболее эффективных и рациональных технологических процессов с позиции энерго- и ресурсосбережения для повышения коэффициента извлечения нефти. Повышение нефтеотдачи месторождений методом ПНО-CO₂ характеризуется добавленной ценностью в связи с продуктивным использованием месторождения с одновременным захоронением выбросов CO₂. По результатам работ, выполненных американскими экспертами, мировой потенциал технологий ПНО-CO₂ составляет порядка 340 млрд. баррелей технически извлекаемых нефтяных ресурсов, потенциал захоронения CO₂ составляет около 120 млрд. т [3].

По предварительным прогнозам в ряде регионов России подобное использование углекислого газа может компенсировать достаточно высокие затраты на его улавливание, которые составляют около 70-80% всей стоимости захоронения CO₂ в зависимости от особенностей конкретного проекта.

Для условий России стоимостная оценка ещё не проводилась, поэтому определение экономической целесообразности проектов секвестрации CO₂, а также условий, при которых проекты становятся окупаемыми, являются важными экономическими задачами. Такие прогнозные величины необходимы

для обоснования предлагаемой стратегии совмещения добычи энергоресурсов и сокращения выбросов парниковых газов. В свою очередь утилизированный CO₂ может считаться сокращенным выбросом парниковых газов, что позволит получать дополнительный доход в рамках экономических механизмов международных конвенций и ограничений посткиотского периода [3].

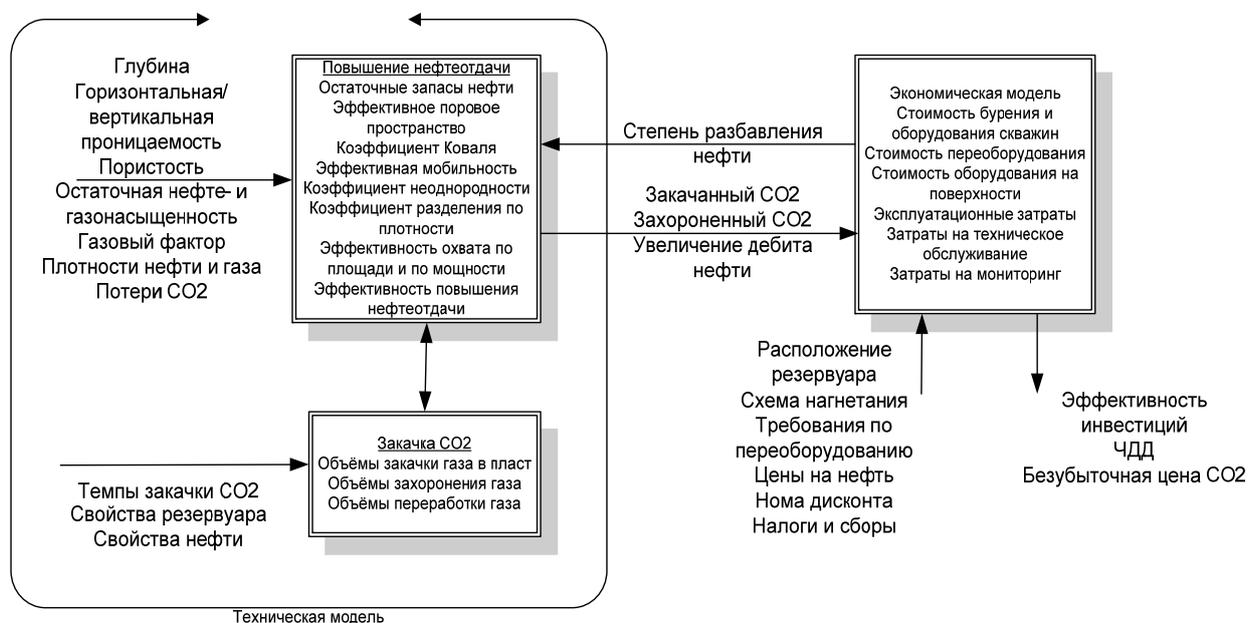


Рис. 1 – Принципиальная схема технико-экономической модели закачки CO₂ в нефтяное месторождение [4]

В Энергетической стратегии России до 2030 года, утвержденной еще в ноябре 2009 года [6], рекомендуется расширить масштабы промышленного внедрения инновационных технологий повышения нефтеотдачи пластов и интенсификации добычи нефти. В качестве приоритетных направлений выделено применение газовых, водогазовых, термогазовых, реогазохимических и тепловых методов повышения нефтеотдачи залежей жидких углеводородов.

Таким образом, внедрение технологий ПНО-CO₂ может считаться одним из приоритетных направлений в рамках Энергетической стратегии России, которое позволит не только снизить концентрацию парниковых газов в атмосфере, но и повысить эффективность разработки месторождений. На рисунке 1 приведена технико-экономическая модель, которая может быть использована при реализации проектов ПНО-CO₂.

Подходы к экономической оценке проектов ПНО-CO₂

Перед началом процесса реализации технологий ПНО-СО₂ на территории России необходимо провести исследования по следующим направлениям[3]:

- для каждого нефтедобывающего бассейна России установить его характеристики, размер рынка ПНО-СО₂ и захоронения СО₂;

- определить направления использования мероприятий ПНО-СО₂ и других экономических механизмов международных конвенций по снижению эмиссии парниковых газов;

- выявить диапазон цен, которые могут себе позволить различные региональные операторы ПНО-СО₂ при покупке уловленного техногенного СО₂;

- оценить стратегические аспекты взаимодействия правительства и нефтегазовых компаний, научно-исследовательских институтов и экологических организаций;

- разработать нормативно-правовые механизмы стимулирования исследований и внедрения технологий секвестрации.

При последующей реализации проектов ПНО-СО₂ необходимо сформулировать и обосновать принципиальные подходы к их экономической оценке.

При экономической оценке таких проектов необходимо следующее:

- учитывать специфичность инвестиционных затрат;
- учитывать эксплуатационные затраты;
- прогнозировать доходы с учетом секвестрации парникового газа путем использования экономических механизмов углеродного рынка;

- прогнозировать доходы с учетом прироста дебетов скважин.

Инвестиционные затраты, связанные с реализацией проекта по повышению нефтеотдачи с помощью СО₂, рассчитываются на основе данных о затратах на следующие элементы:

- точка отвода СО₂ на основной транспортной линии;
- ветка СО₂-трубопровода, идущая к месторождению;

- модификация процесса добычи нефти;
- компрессоры, нагнетающие CO₂ в скважину;
- установка, осушающая газ, предназначенный для закачки;
- скважины для закачки.

Текущие затраты включают в себя:

- затраты на CO₂ (расходы на CO₂, оплачиваемые операторами (исполнителями) проектов повышения нефтеотдачи);
- эксплуатационные затраты, связанные с применяемым оборудованием;
- затраты на энергообеспечение;
- мониторинг за состоянием и миграцией CO₂ в водоносных и выработанных пластах.

Для определения экономической эффективности проектов использования и захоронения техногенного CO₂ в нефтегазовых резервуарах можно использовать следующие показатели[3]:

$$PV = \frac{\sum_{t=0}^T \frac{K_t + \mathcal{E}_t}{(1+e)^t}}{\sum_{t=0}^T S_t}; \quad (1)$$

$$CI = \frac{\sum_{t=0}^T \frac{\Delta Q_t C_t + S_t C_t}{(1+e)^t}}{\sum_{t=0}^T \frac{K_t + \mathcal{E}_t}{(1+e)^t}}, \quad (2)$$

где PV – приведенная величина затрат захоронения CO₂, руб./т CO₂; CI – индекс рентабельности инновационного проекта секвестрации, доли ед.; K_t – капитальные затраты (транспортная инфраструктура, нагнетательные скважины, компрессоры для сжатия CO₂ и др.) в году t, руб.; Э_t – эксплуатационные затраты в году t, руб.; T – срок инновационного проекта; e – норма дисконта; S_t – количество CO₂, выброс которого предотвращён в году t (CO₂, закачанный в нефтегазовый резервуар в году t), т CO₂; C_t – рыночная стоимость углеродного кредита за предотвращенный выброс в году t, руб.; ΔQ –

прирост добычи нефти в результате закачки CO₂, т; Ц_t – цена 1 тонны нефти в году t, руб.

Первый показатель (PV) характеризует величину капитальных и текущих затрат, разделённых на общий объем закачанного CO₂, и показывает эквивалентные приведенные затраты на предстоящее захоронение данного общего объёма CO₂.

Второй показатель (CI) характеризует рентабельность инновационного проекта секвестрации и отражает соотношение доходной части проекта секвестрации к объему капитальных и эксплуатационных затрат.

На сегодняшний день проекты по захоронению CO₂ в нашей стране не реализуются, поэтому при оценке экономической эффективности проектов необходимо ориентироваться на стоимостные характеристики аналогичных проектов в зарубежных странах. Затраты на захоронение CO₂ оцениваются экспертами в пределах от 12 до 300 рублей за каждую тонну, а мониторинг состояния хранилищ потребует дополнительных 2,4 – 7,2 рубля за тонну (таблица 1). Стоимость же углеродных кредитов по проектам совместного осуществления (ПСО) в среднем составляет от 288 до 1080 руб./т CO₂[3].

Важными параметрами при выборе месторождения для закачки углекислого газа являются:

1. степень выработанности месторождения (закачка CO₂ должна использоваться как вторичный или третичный метод воздействия на пласт);
2. глубина закачки (более 800 м);
3. пластовое давление (более 8 МПа);
4. динамическая вязкость нефти (менее 15 мПа·с);
5. плотность нефти (менее 970 кг/м³).

Стоимость захоронения CO₂ в истощенных нефтегазовых месторождениях

Регион	Тип резервуаров	руб./т CO ₂
США	Истощенные нефтегазовые месторождения	от 12,5 до 305
Европа	Истощенные нефтегазовые месторождения	от 30 до 95
Северное море	Истощенные нефтегазовые месторождения	от 95 до 202,5

Так, ограничение по глубине существует в связи с необходимостью обеспечения безопасности. В случае, если CO₂ будет находиться ближе к поверхности земли, то может произойти утечка. Ограничения по давлению и свойствам нефти обеспечивают полную растворимость в ней CO₂, что, в свою очередь, является ключевым фактором при расчёте эффективности повышения нефтеотдачи. Тяжёлые и высоковязкие нефти значительно хуже вытесняются закачиваемыми в пласт агентами, что делает весь процесс убыточным или вовсе технологически нецелесообразным.

Заключение

Таким образом, проекты повышения нефтеотдачи посредством закачки углекислого газа в нефтяные скважины, по мнению большинства ведущих ученых в этой области и по результатам проведенных исследований, имеют серьезный экономический и экологический потенциал. Наиболее значимой проблемой, стоящей перед развитием подобных проектов, на сегодняшний день является высокая стоимость их реализации и низкая коммерческая привлекательность. В частности, наибольшие затраты возникают на стадии захвата углекислого газа.

В данной статье затронуты вопросы, касающиеся оценки экономической эффективности реализации проектов секвестрации углекислого газа и его вторичного применения для повышения нефтеотдачи затухающих нефтяных скважин. Даны рекомендации по первичной подготовке к реализации таких проектов на территории России.

Исследование выполнено в рамках гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых, проект МД –3181.2013.5

Библиографический список:

1. Обзор последних технологических направлений развития Норвегии. Электронный ресурс. Режим доступа: [http://www.nif.kz/pdf/Обзор последних технологических направлений развития Норвегии.pdf](http://www.nif.kz/pdf/Обзор_последних_технологических_направлений_развития_Норвегии.pdf). Дата обращения: 20.10.2014

2. Череповицын А.Е. Концептуальные подходы к разработке инновационно-ориентированной стратегии развития нефтегазового комплекса: Монография. СПб: СПГГИ, 2008. 212 с.

3. Череповицын А.Е., Маринина О.А. Методические подходы к экономической оценке проектов повышения нефтеотдачи на основе закачки CO₂ // Записки Горного института, 2011. Т. 194, С. 344-348.

4. Череповицын А.Е., Сидорова К.И., Буренина И.В. Экономическая оценка проектов закачки CO₂ в нефтяные месторождения. Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело», 2014. N 5, с. 337-356. Режим доступа: http://ogbus.ru/issues/5_2014/ogbus_5_2014_p337-356_CherepovitsynAE_ru.pdf

5. Череповицын А.Е., Сидорова К.И., Смирнова Н.В. Целесообразность применения технологий секвестрации CO₂ в России. Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело», 2013. N 5. с. 459-473. Режим доступа: http://ogbus.ru/authors/CherepovitsynAE/CherepovitsynAE_1.pdf

6. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://minenergo.gov.ru/aboutminen/energostategy/>. Дата обращения: 25.10.2014