

DOI: [https://doi.org/10.17353/2070-5379/43\\_2015](https://doi.org/10.17353/2070-5379/43_2015)

УДК 622.323.003.1:622.276.6

**Соколов А.Н.**Институт проблем нефти и газа СО РАН, Якутск, Россия, [anton.new@mail.ru](mailto:anton.new@mail.ru)**Искрицкая Н.И.**Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский нефтяной научно-исследовательский геологоразведочный институт» (ФГУП «ВНИГРИ»), Санкт-Петербург, Россия, [nii@vniгри.ru](mailto:nii@vniгри.ru)

## ИДЕЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА. ИСТОРИЯ ВОПРОСА И АКТУАЛЬНОСТЬ В НАШИ ДНИ

*Предлагается идея применения энергетического анализа в оценке деятельности предприятий нефтегазовой отрасли. Дается краткая историческая справка, указываются предпосылки появления в прошлом веке идеи энергетического анализа в СССР и странах с рыночной экономикой. Обосновывается актуальность энергетического анализа, предлагаются некоторые направления использования инструментов энергетического анализа. Приводятся основные определения, формулы, расчеты показателей энергетической эффективности добычи углеводородов.*

**Ключевые слова:** энергетический анализ, EROI, EROCS, добыча углеводородов в России.

### Введение

Наибольшая доля нефти и газа в мире добывается с целью получения энергии. В связи с этим является естественным и важным вопрос об энергетической эффективности процесса добычи. Энергетическая эффективность определяется как отношение полученной энергии к затраченной на получение (добычу). Чем значение больше, тем рассматриваемый энергоресурс эффективнее по сравнению с другими. Легкие запасы нефти и газа в этом смысле являются крайне эффективными, так как при минимальных затратах общество получает огромный объем энергии. Энергетическую эффективность следует рассматривать как один из показателей энергетического анализа.

В 70-80-х гг. прошлого века к теме энергетического анализа проявляется повышенный интерес, причем, как в СССР, так и в странах с рыночной экономикой. Причины этого интереса были разными.

В настоящее время мировая добыча углеводородов переходит от традиционных к трудноизвлекаемым запасам, нетрадиционным источникам углеводородов (УВ), а также появляются альтернативные технологии производства моторного топлива. В связи с этим энергетический анализ становится важным элементом для оценки эффективности деятельности предприятий энергетического сектора, и в некоторых случаях даже выходит на передний план. Например, в середине 2000-х гг. в США возникла полемика об энергетической эффективности производства моторного этанола из кукурузы. Результаты расчетов

отличались друг от друга вплоть до заключения об убыточности такого производства [Hall, Dale, Pimentel, 2011]. Этот вопрос принципиально важен, так как если производство энергетически убыточно, то технологию следует дорабатывать, энергозатраты сокращать, чтобы в конечном итоге энергетический баланс был положительный.

### **История идеи энергетического анализа в СССР и странах с рыночной экономикой**

**СССР.** В плановом хозяйстве СССР действовала система натуральных и стоимостных показателей для планирования, оценки деятельности и использования энергетических ресурсов. На рубеже 1970-1980-х гг. в нефтедобыче начали широко применяться методы увеличения нефтедобычи (МУН), которые требовали повышенных энергетических затрат, поэтому возникла необходимость всесторонней оценки эффективности этих мероприятий.

Затраты на получение дополнительной нефти оценивались либо по плановой себестоимости, либо вообще не отражались в издержках на проведение мероприятий [Арефьева, 1986].

В итоге практически складывалась ситуация, когда объём дополнительной нефти, полученной за счёт МУН, был меньше энергозатрат, затраченных на её получение. При этом стоимостной результат был положительным. В.И. Лузин отмечает, что «соизмерение различных видов и качества энергетических затрат при производстве и преобразовании энергии на практике осуществляется главным образом с помощью стоимостных показателей (*«спущенных сверху»*. авт.), в которых недостаточно, а в ряде случаев противоречиво отражается эквивалентность энергетических затрат» [Лузин, 1982]. Именно этот аспект плановой экономики послужил предпосылкой для исследований энергетической эффективности применения МУН и добычи углеводородов в целом.

Сам по себе факт увеличения нефтеотдачи не является показателем эффективности применения того или иного метода. Увеличение нефтеотдачи необходимо сопрягать с произведенными для этой цели энергозатратами. Для решения этой задачи были предложены показатели [Лузин, 1982]:

$$K_{\text{ЭЭ}} = \frac{\text{ТП}-\text{СЭ}}{\text{ВП}+\text{СЭ}} \quad (1),$$

где  $K_{\text{ЭЭ}}$  – коэффициент энергетической эффективности; ТП – товарное производство энергоресурсов; ВП – валовое производство энергоресурсов; СЭ – сопряженные энергозатраты.

$$K_{\text{ИЗ}} = \frac{\text{ВП}-\text{ПН}-\text{П}}{\text{БЗ}} \quad (2),$$

где  $K_{\text{ИЗ}}$  – коэффициент использования запасов энергоресурсов; ВП – валовое производство энергоресурсов; ПН – использование энергоресурсов на собственные производственные

нужды; П – потери энергоресурсов; БЗ – балансовые запасы  $A+B+C_1$ .

Коэффициент энергетической эффективности  $K_{э}$  представляет собой отношение полезной энергии к общему произведенному объему энергии. Чем ближе значение коэффициента к единице, тем энергоэффективнее рассматриваемое производство или мероприятие МУН. Коэффициент использования запасов  $K_{из}$  позволяет определить отношение полезной энергии к потенциальным запасам этой энергии в недрах.

Дополнительная связка из двух коэффициентов позволила в условиях планового хозяйства дать оценку мероприятиям МУН с учетом энергозатрат [Арефьева, 1986]:

$$\mathcal{E}_н = \frac{B}{N_{уд}} \quad (3),$$

где  $\mathcal{E}_н$  – энергоемкость одной тонны дополнительной нефти;  $B$  – энергоемкость производства и закачки одной тонны рабочего агента;  $N_{уд}$  – норматив удельной дополнительной добычи нефти на одну тонну рабочего реагента.

$$A_{доп} = A_з * (N_{уд} - \mathcal{E}_н) \quad (4),$$

где  $A_{доп}$  – дополнительная добыча нефти и газа от мероприятий по увеличению нефтеотдачи пластов;  $A_з$  – объем закачки вытесняющего реагента;  $N_{уд}$  – норматив удельной дополнительной добычи нефти и газа.

Таким образом, путем привлечения натуральных показателей для целей анализа эффективности предполагалось нивелировать недостатки стоимостного анализа.

Помимо решения прикладных задач в нефтегазодобыче, идея учета затрат и выпуска в энергетических единицах прорабатывалась и для составления энергетического межотраслевого баланса. Работы в этом направлении велись в Институте систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН (ИСЭМ СО РАН) и Институте энергетики РАН (ИНЭИ РАН). В ИСЭМ СО РАН Е.А. Медведева занималась развитием метода оценки полных энергетических затрат межотраслевого баланса. Данный метод позволяет показать дополнительную потребность в энергии по всей цепочке производственных связей при увеличении конечного потребления той или иной продукции на единицу. Дальнейшее развитие этот метод получил в ИНЭИ РАН, где был разработан подход, основанный на моделировании межотраслевого баланса в натуральном выражении (В.П. Чупятов, И.В. Магалимов), который позволяет оценить спрос не только на основные энергоносители, но и на энергоемкие материалы и услуги [Методы и модели прогнозных..., 2010]

**Страны с рыночной экономикой.** В прошлом веке в США повышенный интерес к теме энергетического анализа возник в период 1975-1985-х гг. [Brandt, Dale, 2015]. США, как страна с рыночной экономикой, не имела тех специфических особенностей плановой экономики, которые актуализировали исследования подобного рода в СССР. Главным событием, которое

вызвало интерес к данной теме, стал энергетический кризис 1973 г.

В начале 80-х гг. прошлого века американскими учеными была предложена идея расчета энергетической эффективности добычи энергоресурсов. Этот показатель был назван EROI (Energy Return On Invested) и первыми, кто его использовал, были К. Кливленд (С. J. Cleveland) и Ч. Холл (С. А. S. Hall) [Murphy, Hall, 2010]. Причем, Ч. Холл – это ученый биолог, который в своей диссертации рассматривал миграцию рыб. В процессе изучения, он сформулировал аксиому, что «хищник не может тратить больше энергии на охоту, чем получает в результате охоты». Эту идею он и его коллеги перенесли на добычу углеводородов, и затем шире – на производство энергоресурсов и энергии в целом. Кроме них данным вопросом занимались и другие исследователи [Brandt, Dale, 2015].

Показатель EROI является отношением «инвестированной» энергии в добычу энергоресурса к полученной в результате «инвестиций». Чем больше значение, тем эффективнее рассматриваемый энергоресурс. Под «инвестициями» американские ученые понимают широкий спектр прямых, косвенных и вспомогательных затрат, связанных с процессом добычи энергоресурса. Ч. Холл подчеркивает, что вопрос о зависимости производства энергии от финансовых инвестиций также должен рассматриваться в рамках дискуссии по вопросу энергетической эффективности добычи энергоресурсов [Murphy, Hall, 2010].

Здесь следует сказать, что имеет место быть некоторого рода терминологическая нечеткость между финансовым ROI и энергетическим EROI. При расчете EROI учитывается весь спектр материальных и энергетических затрат, тогда как при расчете ROI в знаменателе суммируется только собственный капитал и долгосрочные обязательства, без краткосрочных. Краткосрочные обязательства, на которые покупаются горюче-смазочные и другие материалы, не учитывается. Далее, месторождение может разрабатываться несколькими инвесторами, и в зависимости от договоренностей, у каждого участника будет определенный объем инвестиций, прибыли и советующее расчетное значение ROI.

В финансовом анализе имеется показатель «рентабельность производственных расходов» (ROCS – Return On Cost of Sales), который рассчитывается как отношение прибыли к себестоимости проданной продукции. Синонимы: «окупаемость издержек», «рентабельность затрат». Если быть терминологически точным, то следует говорить об энергетическом эквиваленте именно этого показателя, и обозначить его энергетический вариант как EROCS (Energy Return On Cost of Sales).

Возвращаясь к истории вопроса, с середины 1980-х гг. тема энергетического кризиса в США ушла в тень, и вместе с тем ушла в тень дискуссия об энергетической эффективности. Считалось, что финансовый анализ отвечает на все интересующие инвесторов вопросы

[Brandt, Dale, 2015]. Вновь интерес к теме энергетической эффективности был вызван рядом факторов, в том числе ростом цен на нефть в 2000-х гг., вовлечением в разработку нетрадиционных источников УВ и развитием альтернативной энергетики. Возникла объективная необходимость в сравнении этих новшеств как между собой, так и по линии традиционных энергоресурсов. Следует отметить, что частично необходимость сравнения в натуральных показателях была вызвана тем обстоятельством, что в США со стороны федерального правительства имела место сильная поддержка новых технологий, связанных с энергетикой [*Энергетические субсидии...*, 2014]. Оказываемая поддержка в самых разных формах привела к тому, что стоимостные показатели эффективности стали не в полной мере отражать эффективность новых энергоресурсов, и потребовалась оценка, рассчитываемая на основе натуральных показателей.

В 2011 г. вышли две статьи, в которых рассматриваются методические вопросы расчета показателей энергетической эффективности. В первой статье авторы представили классификацию и предварительную методику расчета показателя EROI [Murphy, Hall, Dale, Cleveland, 2011]. Были разобраны основные концептуальные вопросы, связанные с методикой расчета (точки расчета, категории затрат, методика пересчета в энергетический эквивалент материалозатрат). В зависимости от того, какие категории затрат и в какой точке производится, авторы предлагают классификацию EROI (табл. 1).

Таблица 1

Классификация EROI [Murphy, Hall, Dale, Cleveland, 2011]

Номер	Категории затрат	Точка расчета		
		1. На промысле	2. На заводе переработки	3. В точке конечного использования
1	Прямые материалозатраты и энергозатраты	$EROI_{1,d}$	$EROI_{2,d}$	$EROI_{3,d}$
2	+ косвенные материалозатраты и энергозатраты	$EROI_{std}$	$EROI_{2,i}$	$EROI_{3,i}$
3	+ косвенные трудозатраты	$EROI_{1,lab}$	$EROI_{2,lab}$	$EROI_{3,lab}$
4	+ вспомогательные услуги	$EROI_{1,aux}$	$EROI_{2,aux}$	$EROI_{3,aux}$
5	+ экологические работы	$EROI_{1,env}$	$EROI_{3,env}$	$EROI_{3,env}$

Предлагается «стандартный» вариант расчета  $EROI_{std}$ , который применительно к нефти производится в точке начала трубопровода, и включает в себя прямые и косвенные материалозатраты и энергозатраты на добычу и первичную подготовку. Разумеется, это общие рамки, применительно к практике следует отталкиваться от поставленных задач, для решения которых производится расчет.

При расчете EROI выделяется ряд случаев; два из них следует особо отметить.

1. Углеводородная энергетическая эффективность (FER – Fossil Energy Ratio). При

расчете EROI учитываются только потребленные углеводороды. Такой тип расчета часто производится для оценки и сравнения производства биотоплива.

2. Внешняя энергетическая эффективность - (EER External Energy Ratio). В случае, когда в процессе добычи энергоресурса часть энергозатрат покрывается за счет этого добываемого энергоресурса, то эта часть не учитывается при расчете EROI. Авторы приводят в пример - процесс добычи УВ из битуминозных песков, где значительная часть энергии поступает от сжигания кокса – результата переработки битума, и эту энергию предлагается исключить из расчета [Murphy, Hall, Dale, Cleveland, 2011].

Вторая статья А. Брандта и М. Дейла, который в рамках энергетического анализа (NER – Net Energy Analyses) рассматривает методику расчета показателей энергетической эффективности. Авторы предлагают принципиальную схему расчета ряда показателей энергетической эффективности (ERR – Energy Return Ratios) [Brandt, Dale, 2015]. Для расчета весь процесс разбивается на стадии, определяются границы расчетов и в итоге автор предлагает четыре показателя энергетической эффективности:

1. Внутренняя энергетическая эффективность  $NER$  – Net Energy Return. Отношение товарного производства энергоресурса ко всем сопряженным с производством затратам.

2. Внешняя энергетическая эффективность  $NEER$  – Net External Energy Return. Отношение товарного производства энергоресурса к затратам, за исключением тех, которые покрывались за счет производимого энергоресурса.

3.  $GER$  – Gross Energy Return. Отношение валового производства энергоресурса ко всем сопряженным с производством затратам.

4.  $GEER$  – Gross External Energy Return. Отношение валового производства энергоресурса к затратам, за исключением тех, которые покрывались за счет производимого энергоресурса.

В зависимости от того, какие стадии и какие границы были включены в расчет, различается объем товарного производства и перечень затрат. И для каждого отдельного случая возможен расчет всех четырех показателей.

Совместными усилиями этих и других авторов были сделаны расчеты показателей энергетической эффективности для большинства энергоресурсов как традиционных, так и нетрадиционных.

#### **Актуальность концепции энергетического анализа в настоящее время**

Актуальность концепции энергетического анализа в настоящее время главным образом обуславливается двумя тенденциями в мировой энергетике:

1. Вовлечение в разработку трудноизвлекаемых запасов и нетрадиционных

источников углеводородов;

## 2. Развитие возобновляемой, альтернативной энергетики.

Данные тенденции являются фундаментальными, долгосрочными и взаимосвязанными. На смену легко извлекаемым запасам нефти и газа идут более затратные в плане извлечения запасы. Высокие затраты ведут к повышению себестоимости добываемых углеводородов, а высокая себестоимость может окупиться только при высоких ценах. В свою очередь высокие цены на углеводороды вызывают повышенный интерес к возобновляемой энергетике и альтернативным энергоресурсам.

В России имеется еще одна особенность, в связи с которой энергетический анализ является актуальным. Необходимо упомянуть принятый в 2009 г. закон № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». В законе говорится о необходимости повышения энергоэффективности промышленности. Очевидно, что все мероприятия, направленные на повышение энергоэффективности в конечном итоге необходимо оценивать, и поэтому получается, что энергетический анализ в том или ином виде необходим для выполнения данного закона.

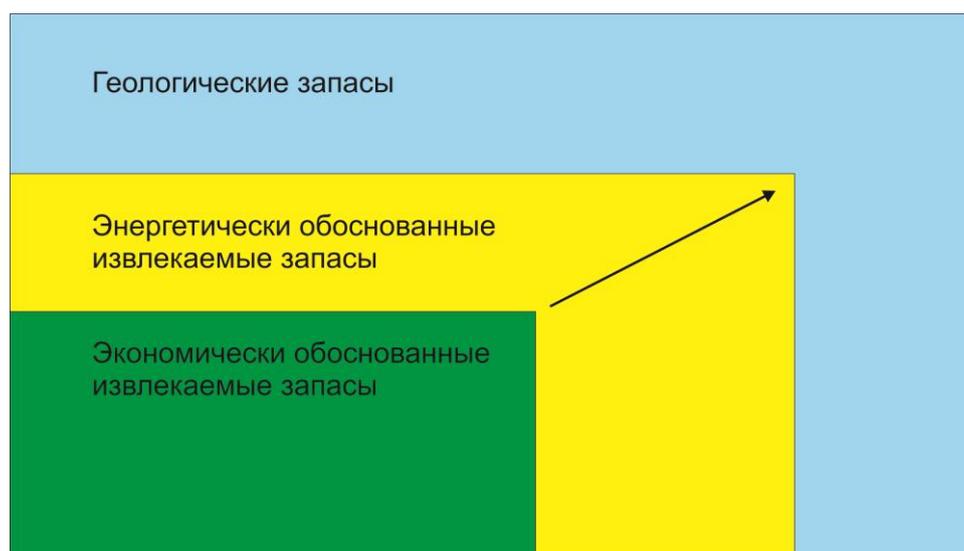
Общепринятым является считать, что финансовое состояние предприятия отражает конечный результат его деятельности (рис. 1). Финансовый анализ позволяет сказать насколько этот результат плох или хорош. Энергетический анализ занимает промежуточное положение между анализом результатов деятельности в натуральном выражении и финансовым анализом (рис. 2). Главное преимущество энергетического анализа заключается в том, что он позволяет уйти от ценовой волатильности. Это важно, так как в период сильных ценовых колебаний финансовые показатели предприятия меняются, но их изменение никак не связано с реальным производством, и это вносит своего рода искажение в оценку деятельности компании. Энергетический анализ в этом случае позволит сделать вывод, например, что, не смотря на снижение цен, производственные подразделения компании повышают свою эффективность.

Энергетический анализ необходим для:

- Выявления состояния производственных подразделений;
- Выявления факторов, влияющих на энергоэффективность производственной деятельности;
- Оценки количественных и качественных изменений в производственном процессе;
- Оценки энергоэффективности деятельности предприятия на определенную дату;
- Определения тенденций изменения состояния производственных подразделений.



**Рис. 1. Концептуальное место энергетического анализа в общем анализе деятельности предприятия**



**Рис. 2. Соотношение геологических запасов, энергетически и экономически обоснованных извлекаемых запасов углеводородов**

Некоторые элементы энергетического анализа можно видеть в отчетах нефтегазовых компаний. Вполне возможно, что в закрытых отчетах вопросам энергоэффективности уделяется больше внимания и проводится больше расчетов, но на данный момент времени можно констатировать, что в открытой отчетности этому уделяется очень мало внимания.

Применительно к добыче нефти и газа, энергетический анализ позволяет решить задачи:

1. Оценка энергоэффективности разработки трудноизвлекаемых и нетрадиционных запасов УВ. Эффективность применения МУН. Эффективность технологий возобновляемой и альтернативной энергетики;
2. Оценка эффективности работы добывающих подразделений компаний;
3. Выделение категории «энергетически обоснованных извлекаемых запасов УВ».

Для проектов по разработке трудноизвлекаемых и нетрадиционных запасов УВ, производить энергетический анализ необходимо, так как в ряде случаев энергетическая эффективность может быть крайне низкой, или даже отрицательной. Это касается добычи высоковязкой нефти, разработки битуминозных песков, а также добычи «сланцевой нефти» (например, разработка запасов баженовской свиты).

Логичным развитием идеи, заложенной в коэффициенте использования запасов (формула 2), является подсчет энергетически обоснованных извлекаемых запасов УВ. В настоящее время извлекаемые запасы (и КИН) рассчитываются исходя из текущей цены на УВ и стоимостных затрат на добычу. К извлекаемым запасам относится часть геологических запасов, извлечение которых из недр на дату подсчета экономически эффективно в условиях конкурентного рынка при рациональном использовании современных технических средств и технологий добычи с учетом соблюдения требований по охране недр и окружающей среды. Таким образом, как только затраты на добычу превышают выручку от продажи добытых УВ, добыча останавливается. По аналогии можно определить энергетически обоснованные запасы как часть геологических запасов, извлечение которых на дату подсчета энергетически эффективно при рациональном использовании современных технических средств и технологий добычи с учетом соблюдения требований по охране недр и окружающей среды. В этом случае мы будем иметь оценку извлекаемых запасов, которая не зависит от волатильности цен на мировых рынках [Сафронов, Соколов, 2014].

### **Практическое применение энергетического анализа**

Приведем ряд случаев, где применение энергетического анализа приводит к важным результатам.

**Разработка битуминозных песков.** В настоящее время в ряде стран ведется добыча УВ из битуминозных песков. Наибольших успехов в этой области достигли компании, работающие в Канаде. В Канаде ведется разработка запасов как наземным, так и подземным

способом. Некоторые параметры проектов разработки битуминозных песков приводятся в отчете Канадского энергетического института (CERI). На основе приведенных данных можно сделать расчет EROCS добычи УВ за весь срок существования соответствующего проекта (табл. 2).

Таблица 2

**Расчет EROCS разработки битуминозных песков [Сафронов, Соколов, 2015]**

Номер	Итоговые параметры за 30 лет, млн. т нефтяного эквивалента	Метод разработки		
		SAGD и обогащение (раздельно)	Карьер и обогащение (совместно)	Карьер и обогащение (раздельно)
1	Производство нефти	149,39	149,39	149,39
2	Капитальные затраты на начальном этапе	4,81	7,88	6,85
3	Постоянные затраты	2,54	3,02	2,63
4	Постоянные (не энергия)	8,93	12,61	12,61
5	Природный газ	57,27	21,70	35,42
6	Электроэнергия	1,50	1,06	-0,26
7	<b>EROCS разработки запасов (1/(2+3+4+5+6))</b>	<b>2</b>	<b>3,2</b>	<b>2,6</b>

Другой расчет показателей энергетической эффективности для канадских битуминозных песков на основе большого статистического материала сделал А. Брандт. Он использовал данные Канадской статистической службы и сделал расчет динамики показателей, начиная с 1970 г. и заканчивая 2010 г. (табл. 3).

Таблица 3

**Годовое значение показателей энергетической эффективности для точек расчета «устье скважины» (MM – Mine mouth) и «пункт конечного использования» (POU – point of use) [Brandt, Englander, Bharadwaj, 2013]**

Номер	Показатель эффективности (ERR)	1970 г.	1980 г.	1990 г.	2000 г.	2010 г.
1	NER - MM	1,09	1,93	2,95	2,97	5,23
2	NEER – MM	27,2	8,55	9,11	9,37	9,76
3	GER – MM	2,05	2,74	3,67	3,70	574
4	GEER – MM	53,12	12,14	11,34	11,69	10,70
5	NER – POU	0,91	1,49	1,89	1,88	2,73
6	NEER – POU	10,25	5,36	5,09	5,17	5,51
7	GER – POU	0,92	1,50	1,91	1,89	2,81
8	GEER – POU	10,31	5,40	5,12	5,21	5,54

В таблице показана внутренняя и внешняя энергетическая эффективность добычи нефти из битуминозных песков в точке расчета «устье скважины» (по факту это «нулевой километр трубопровода», так как в расчеты включены затраты не только на добычу, но и на сбор и первичную подготовку битума).

Первое, что следует отметить, положительную динамику показателя NER - это свидетельствует о том, что технологии со временем стали совершеннее и энергоэффективность повышалась.

Второе, показатель NEER почти в два раза больше NER. Это говорит о том, что значительная часть потребляемой в процессе добычи энергии берется из добываемого энергоресурса. В случае с наземной добычей это кокс, фактически отходы, которые используются для разогрева поступающей смеси песка и битума. В случае подземной добычи, это природный газ, который добывается в небольших количествах вместе с битумом.

Сравнивая результаты расчетов из табл. 2 и 3, более высокие значения показателей в табл. 3 связаны с тем, что в расчет американскими исследователями не были включены материальные затраты и энергетический эквивалент финансовых затрат.

Как видно из расчетов, значения энергетической эффективности разработки битуминозных песков низкие. В связи с чем требуется проведение более детального энергетического анализа, с целью точного расчета отношения полученной энергии к потребленной. И далее требуется проведение исследования по вопросу возможного альтернативного использования того газа, который используется в процессе добычи УВ из битуминозных песков. Так как сам по себе газ является моторным топливом, готовым к эксплуатации, не проще ли и не выгоднее ли будет прямо использовать газ в качестве топлива?

**Оценка эффективности применения МУН.** МУН применяются на падающей стадии разработки месторождения. Все МУН связаны с дополнительными энергетическими затратами, которые различны для каждого метода. Эффективность применения МУН определяется исходя из стоимостных отношений, но является очень важным делать расчеты и в энергетических значениях. В виду разных причин стоимостное определение дополнительных затрат может быть искажено (например, трансфертные ценообразование) и соответственно будет дана неправильная оценка эффективности мероприятий МУН. Дополнительный расчет эффективности в натуральных единицах позволит скорректировать оценку.

В качестве примера приведем расчет эффективности применения МУН в СССР в 80-х гг. прошлого века [Арефьева, Бедросян, 1984; Арефьева, Милявская, 1985].

Дополнительная прогнозная добыча нефти за счет применения МУН определяется по формуле:

$$\Delta A = A_3 * H_{уд},$$

где  $\Delta A$  – дополнительная добыча нефти и газа от применения МУН, т;  $A_3$  – объем закачки вытесняющего агента, т ( $m^3$ );  $H_{уд}$  – норматив удельной дополнительной добычи нефти и газа

на 1 т вытесняющего реагента, т/т.

Разные реагенты (ПАВ<sup>1</sup>, мицеллярный раствор, пар) имеют разные нормативы удельной дополнительной добычи нефти на 1 тонну реагента. В СССР на одном из месторождений нормативы были следующими: ПАВ – 15 т/т, мицеллярный раствор – 5 т/т, одна тонна пара – 0,3 т/т. В условиях плановой экономики установленный норматив удельных приведенных затрат для всех методов был единым и в 1980-х гг. был равен 55 руб./т, и поэтому экономический эффект от 1 т реагента был следующим:

1. ПАВ:  $15 \cdot 55 = 825$  руб.
2. Мицеллярный раствор:  $5 \cdot 55 = 275$  руб.
3. Пар:  $0,3 \cdot 55 = 16,5$  руб.

Получалось, что наибольшую экономическую отдачу дает метод ПАВ. Но оценив энергетические затраты для каждого из методов, ситуация оказывается иной. В таблице 4 представлены данные для трех различных методов и расчет  $K_{\text{э}}$  и EROCS.

Таблица 4

#### Расчет энергетической эффективности применения МУН

Показатели	Паротепловой метод	Мицеллярный раствор	ПАВ
Дополнительная добыча нефти, т	15	15	15
Норматив удельной дополнительной нефти на 1 т израсходованного реагента, т	0,3	5	15
Расход реагента на 15 т дополнительной добычи, т	50	3	1
Расход энергии на внедрение 1 т реагента в пересчете на нефтяной эквивалент, т	0,06	2,07	9,2
Энергоемкость 1 т дополнительной нефти, т/т	0,2	0,41	0,61
Расход энергии на получение 15 т дополнительной нефти, т	3	6,2	9,2
Дополнительная добыча с учетом энергозатрат, т	12	8,8	5,8
Коэффициент энергетической эффективности, $K_{\text{э}}$ (формула 1)	0,67	0,42	0,24
<b>EROCS</b>	<b>5</b>	<b>2,4</b>	<b>1,6</b>

Исходя из энергетического анализа видно, что паротепловой метод является наиболее эффективным, тогда как ПАВ – наименее. Поэтому стоимостной расчет необходимо корректировать, учитывая не валовую дополнительную добычу (строка 1), а чистую, за исключением энергозатрат на дополнительную добычу (строка 7), что в дальнейшем и было сделано на предприятии.

#### Оценка эффективности работы добывающих подразделений компаний.

Финансовые показатели эффективности зависят от множества внешних факторов: ценовая

<sup>1</sup> ПАВ – поверхностно-активные вещества

конъюнктура, стоимость займов, налоговый режим и т.д. В период низких цен на углеводороды финансовые показатели эффективности ухудшаются, но значит ли это, что эффективность добывающих подразделений также ухудшилась? Верно и зеркальное: в период высоких цен финансовые показатели улучшаются, но значит ли это что добывающие подразделения стали работать более эффективно?

Многие компании кроме финансовых показателей дополнительно используют натуральные показатели, в том числе и энергетические, например, удельный расход электроэнергии на 1 т добытой нефти, удельный расход энергии на подготовку и транспортировку нефти и т.д. Взятые в комплексе и финансовые и натуральные показатели позволяют более точно дать оценку деятельности компании.

В связи с принятым в РФ законом № 261-ФЗ «Об энергосбережении», для компаний нефтегазовой отрасли энергетический учет и анализ в том или ином виде является обязательным. После принятия закона компании были вынуждены принять комплекс мер по сбору информации об энергопотреблении в производственных подразделениях, и на основе этой информации делать расчеты (и выводы). Например, в ОАО «Газпромнефть» в 2013 г. завершился первый и стартовал второй этап проекта внедрения системы энергетического менеджмента (СЭНМ), соответствующей требованиям международного стандарта ISO 50001:2011. В течение первого этапа, начавшегося в сентябре 2012 г., была принята Энергетическая политика Компании, а также была создана и внедрена единая нормативно-методологическая база, которая позволит интегрировать бизнес-процессы энергетического менеджмента в существующие бизнес-процессы корпоративного центра и предприятий «Газпромнефти». Во время второго этапа проекта СЭНМ будет внедрена на пилотных предприятиях: ОАО «Газпромнефть-ОНПЗ» и ОАО «Газпромнефть-ННГ». На третьем этапе проекта СЭНМ с учетом полученного опыта будет каскадирована на все предприятия компании [Годовые отчеты ПАО «Газпром нефть», 2015]. Подобная работа, надо полагать, ведется во всех российских нефтегазовых компаниях.

Некоторую часть данных об энергопотреблении компании публикуют в годовых отчетах. К сожалению, в отчетах данных об энергопотреблении предоставляется не так много, как о финансовом состоянии, тем не менее, некоторые расчеты выполнить возможно. В табл. 5 представлены финансовые показатели эффективности (ROCS, ROS, ROI) и один энергетический (EROCS) для трех российских нефтегазовых компаний.

Ниже рассматриваются три разных случая динамики финансовых показателей и энергетического.

В случае НОВАТЭКа видно, что EROCS существенно снижается, что говорит о росте энергозатрат. Такой рост затрат не мог не отразиться на показателе ROCS, он также снижается,

но медленнее (за исключением 2011 г.). И одновременно с этим наблюдается стабильный уровень ROS и ROI, и даже их некоторый рост в 2013 г. Из этого можно сделать вывод, что на добычу и транспортировку энергозатраты увеличиваются, причины могут быть разные, их можно выявить в результате энергетического анализа. Увеличение энергозатрат негативно сказывается на финансовых показателях. В то же время управление финансами компанией является эффективным, так как ROS и ROI демонстрируют положительную динамику.

Таблица 5

#### Финансовые и энергетические показатели эффективности российских нефтегазовых компаний

Номер	Название	2010	2011	2012	2013
<b>1</b>	<b>ОАО «НОВАТЭК»</b>				
1.1	<b>EROCS добычи УВ</b>	129	105	76	70
1.2	Рентабельность затрат (ROCS)	90%	181%	82%	78%
1.3	Рентабельность продаж (ROS)	35%	68%	33%	37%
1.4	Рентабельность инвестиций (ROI)	18%	36%	17%	21%
<b>2</b>	<b>ОАО «Газпром»</b>				
2.1	<b>EROCS добычи УВ</b>	81	77	75	80
2.2	Рентабельность затрат (ROCS)	29%	61%	33%	33%
2.3	Рентабельность продаж (ROS)	13%	25%	15%	16%
2.4	Рентабельность инвестиций (ROI)	6%	10%	6%	7%
<b>3</b>	<b>ОАО «Газпромнефть»</b>				
3.1	<b>EROCS добычи УВ</b>	30	35	35	40
3.2	Рентабельность затрат (ROCS)	12%	12%	11%	8%
3.3	Рентабельность продаж (ROS)	9,1%	9,3%	7,5%	5,7%
3.4	Рентабельность инвестиций (ROI)	12%	16%	17%	11%

В случае с ОАО «Газпром» финансовые и энергетические показатели меняются не сильно, что говорит о стабильной и эффективной работе как добывающих подразделений, так и всей компании в целом.

В случае с ОАО «Газпромнефть» наблюдается рост показателя EROCS за счет сокращения энергозатрат с одной стороны и увеличения добычи газа с другой. При этом наблюдается ухудшение финансовых показателей.

#### Выводы

Текущие трансформации в мировой энергетике, в том числе и в нефтегазовом секторе, ведут к усложнению структуры мирового энергетического рынка. Появляются новые энергоресурсы, вовлекаются в разработку нетрадиционные запасы и т.д. Высокая волатильность цен на энергоресурсы приводит к тому, что одного только финансового анализа для оценки деятельности предприятий или инвестиционных проектов недостаточно. Для более четкой оценки требуются новые инструменты анализа.

Энергетический анализ является «передаточным» звеном между натуральными

показателями производственной деятельности и финансовым анализом. Энергетический анализ с одной стороны позволяет уйти от волатильности цен, а с другой стороны позволяет сделать сравнительную оценку эффективности, чего нельзя сделать, основываясь только на анализе натуральных показателей.

В России остро стоит задача повышения энергоэффективности промышленности. Успешное решение этой задачи, в том числе, подразумевает использование энергетического анализа, иначе сделать вывод об эффективности соответствующих мероприятий невозможно. В настоящее время в отчетах компаний можно видеть отдельные элементы энергетического анализа, но этого явно недостаточно. Данному аспекту требуется уделять не меньше внимания, чем финансовому. А в случае с разработкой нетрадиционных источников энергии, возможно, и больше.

### Литература

*Арефьева (Искрицкая) Н.И.* Экономическая эффективность химизации основных процессов добычи нефти // Диссертация на соискание ученой степени кандидата экономических наук; Фонды Уфимского нефтяного института. - Уфа, 1986. - 153 с.

*Арефьева (Искрицкая) Н.И., Бедросян Э.Н.* Экономическая эффективность методов повышения нефтеотдачи пластов с учетом энергозатрат // Экономика и управление нефтяной промышленности. – 1984. - № 12. - С. 8-11.

*Арефьева (Искрицкая) Н.И., Милявская М.Б.* К методике определения экономической эффективности применения химпродуктов для повышения нефтеотдачи пластов // Химическая переработка нефти и газам: межвузовский сборник. - Казань: КХТИ, 1985. - С. 49-50.

Годовые отчеты ПАО «Газпром нефть». - URL: <http://ir.gazprom-neft.ru/news-and-reports/annual-reports/>

*Лузин В.И.* Экономическая эффективность технического прогресса в нефтяной промышленности. - М.: Недра, 1982. – 160 с.

Методы и модели прогнозных исследований взаимосвязей энергетики и экономики / Ю.Д. Кононов, Е.В. Гальперова, Д.Ю. Кононов и др. – Новосибирск: Наука, 2009. – 178 с.

*Сафронов А.Ф., Соколов А.Н.* Предварительный расчет энергетической эффективности добычи нефти, газа и производства светлых нефтепродуктов в России // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2014. – Т.9. - №3. - [http://www.ngtp.ru/rub/3/34\\_2014.pdf](http://www.ngtp.ru/rub/3/34_2014.pdf). DOI: [https://doi.org/10.17353/2070-5379/34\\_2014](https://doi.org/10.17353/2070-5379/34_2014)

*Сафронов А.Ф., Соколов А.Н.* Энергетическая эффективность разработки запасов битуминозных песков и горючих сланцев. Опыт США и Канады // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2015. - Т.10. - №3. - [http://www.ngtp.ru/rub/3/25\\_2015.pdf](http://www.ngtp.ru/rub/3/25_2015.pdf). DOI:

[https://doi.org/10.17353/2070-5379/25\\_2015](https://doi.org/10.17353/2070-5379/25_2015)

Энергетические субсидии в современном мире. Страны «Группы двадцати» / Под ред. Л.М. Григорьева, А.А. Курдина. - М.: ООО «Асмин Принт», 2014. - 400 с.

*Brandt A.R. and Dale M.* A General Mathematical Framework for Calculating Systems-Scale Efficiency of Energy Extraction and Conversion: Energy Return on Investment (EROI) and Other Energy Return Ratios / *Energies*. – 2011. – №4. – P. 1211-1245.

*Brandt A.R., Englander J., Bharadwaj S.* The energy efficiency of oil sands extraction: Energy return ratios from 1970 to 2010 // *Energy*. – 2013. – Vol. 55. – P.693-702. [doi:10.1016/j.energy.2013.03.080](https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.03.080)

*Hall C.A.S., Dale B.E. and Pimentel D.* Seeking to Understand the Reasons for Different Energy Return on Investment (EROI) Estimates for Biofuels / *Sustainability*. – 2011. - №3. – P. 2413-2432. [doi:10.3390/su3122413](https://doi.org/10.3390/su3122413)

*Murphy D.J. and Hall C.A.S.* Year in review - EROI or energy return on (energy) invested / *Ann. N.Y. Acad. Sci.* – 2010. - №1185. - P. 102–118.

*Murphy D.J., Hall C.A.S., Dale M. and Cleveland C.* Order from Chaos: A Preliminary Protocol for Determining the EROI of Fuels / *Sustainability*. – 2011. - №3. – P.1888-1907.

**Sokolov A.N.**

Institute of Oil and Gas Problems SB RAS, Yakutsk, Russia, anton.new@mail.ru

**Iskritskaya N.I.**

All-Russia Petroleum Research Exploration Institute (VNIGRI), St. Petersburg, Russia, nii@vnigri.ru

## IDEA OF ENERGY ANALYSIS. BACKGROUND AND URGENCY TODAY

*The idea of using energy analysis for the purpose of evaluation of company's activities in the oil and gas industry is proposed. A brief historical reference is given, the prerequisites for formation of the idea of energy analysis in the Soviet Union and countries with market economies in the last century are provided. The urgency of the energy analysis is substantiated, some directions for using energy analysis tools are suggested. The basic definitions, formulas, calculations of energy efficiency of hydrocarbon production are given.*

**Keywords:** energy analysis, EROI, EROCS, hydrocarbon production in Russia.

### References

Annual reports of PJSC "Gazprom oil". URL: <http://ir.gazprom-neft.ru/news-and-reports/annual-reports/>

Arefeva (Iskritskaya) N.I. *Ekonomicheskaya effektivnost' khimizatsii osnovnykh protsessov dobychi nefi* [Economic efficiency of chemicalization of basic processes of oil]. Thesis for scientific degree of candidate of economic sciences; Funds Ufa Petroleum Institute. Ufa, 1986, 153 p.

Arefeva (Iskritskaya) N.I., Bedrosyan E.N. *Ekonomicheskaya effektivnost' metodov povysheniya nefteotdachi plastov s uchetom energozatrat* [Economic efficiency of EOR methods considering energy costs]. *Ekonomika i upravlenie neftyanoy promyshlennosti*, 1984, no. 12, p. 8-11.

Arefeva (Iskritskaya) N.I., Milyavskaya M.B. *K metodike opredeleniya ekonomicheskoy effektivnosti primeneniya khimproduktov dlya povysheniya nefteotdachi plastov* [On the method of determining the economic efficiency of the use of chemical products for the EOR]. Interuniversity collection "Khimicheskaya pererabotka nefi i gaza", KKhTI, Kazan', 1985, p. 49-50.

Brandt A.R. and Dale M. A General Mathematical Framework for Calculating Systems-Scale Efficiency of Energy Extraction and Conversion: Energy Return on Investment (EROI) and Other Energy Return Ratios. *Energies*. – 2011. – №4. – P. 1211-1245.

Brandt A.R., Englander J., Bharadwaj S. The energy efficiency of oil sands extraction: Energy return ratios from 1970 to 2010. *Energy*. – 2013. – Vol. 55. – P.693-702. doi:10.1016/j.energy.2013.03.080

*Energeticheskie subsidii v sovremennom mire. Strany «Gruppy dvadtsati»* [Energy subsidies in the modern world. Countries of "Group of Twenty"]. Editors L.M. Grigor'ev, A.A. Kurdin. Moscow: OOO «AsminPrint», 2014. - 400 p.

Hall C.A.S., Dale B.E. and Pimentel D. Seeking to Understand the Reasons for Different Energy Return on Investment (EROI) Estimates for Biofuels. *Sustainability*. – 2011. - №3. – P. 2413-2432. doi:10.3390/su3122413

Luzin V.I. *Ekonomicheskaya effektivnost' tekhnicheskogo progressa v neftyanoy promyshlennosti* [The economic efficiency of technological progress in the oil industry]. Moscow: Nedra, 1982, 160 p.

*Metody i modeli prognoznykh issledovaniy vzaimosvyazey energetiki i ekonomiki* [Methods and models of forecasting studies the relationships of energy and the economy]. Yu.D. Kononov, E.V. Gal'perova, D.Yu. Kononov i dr. Novosibirsk: Nauka, 2009, 178 p.

Murphy D.J. and Hall C.A.S. Year in review - EROI or energy return on (energy) invested. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* – 2010. - №1185. - P. 102–118.

Murphy D.J., Hall C.A.S., Dale M. and Cleveland C. Order from Chaos: A Preliminary Protocol for Determining the EROI of Fuels. *Sustainability*. – 2011. - №3. – P.1888-1907.

Safronov A.F., Sokolov A.N. *Energeticheskaya effektivnost' razrabotki zapasov*

*bituminoznykh peskov i goryuchikh slantsev. Opyt SShA i Kanady* [The energy efficiency of development of reserves of bitumenous sands and oil shale. Experience of the USA and Canada]. Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika, 2015, vol. 10, no. 3, available at: [http://www.ngtp.ru/rub/3/25\\_2015.pdf](http://www.ngtp.ru/rub/3/25_2015.pdf). DOI: [https://doi.org/10.17353/2070-5379/25\\_2015](https://doi.org/10.17353/2070-5379/25_2015)

Safronov A.F., Sokolov A.N. *Predvaritel'nyy raschet energeticheskoy effektivnosti dobychi nefi, gaza i proizvodstva svetlykh nefteproduktov v Rossii* [A preliminary calculation of the energy efficiency of oil, gas and light oil production in Russia]. Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika, 2014, vol. 9, no. 3, available at: [http://www.ngtp.ru/rub/3/34\\_2014.pdf](http://www.ngtp.ru/rub/3/34_2014.pdf). DOI: [https://doi.org/10.17353/2070-5379/34\\_2014](https://doi.org/10.17353/2070-5379/34_2014)

© Соколов А.Н., Искрицкая Н.И., 2015