

УДК 622.243.13

## Обобщённый критерий сравнительной оценки эффективности применяемых буровых технологий

Ребрик Б. М., Куликов В. В.

*Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, Москва, Россия*

Поступила в редакцию 01.03.11, принята к печати 18.03.11

### Аннотация

Рассмотрены оценочные критерии эффективности технологий бурения скважин. Дано обоснование и предложен новый обобщённый критерий сравнительной оценки эффективности технологий бурения скважин на твёрдые полезные ископаемые.

Ключевые слова: критерий эффективности, технология бурения.

В конце 80-х годов прошлого века Б. М. Ребриком совместно с учениками был предложен, обоснован, разработан и введён в практику оценки эффективности способов бурения, технологии и технических средств разведочного бурения новый механический критерий технической эффективности [3]. В основу критерия были положены известные положения вариационных принципов классической механики – действие  $S_L$  по Лагранжу и действие  $S_H$  по Гамильтону (принцип наименьшего действия), описываемые уравнениями [2]:

$$S_L = \int_0^t 2 \cdot T \cdot dt, \quad (1)$$

$$S_H = \int_0^t (T - \Pi) \cdot dt, \quad (2)$$

где  $T$  – кинетическая энергия системы;  $\Pi$  – потенциальная энергия системы;  $t$  – время.

На основе указанных двух мер движения Лагранж сформулировал принцип наименьшего действия в следующем виде: среди пучка изоэнергетических траекторий механической системы в пространстве конфигураций, соединяющих два фиксированных положения системы, только для действительной траектории (для реального движения) вариация действия по Лагранжу обращается в нуль.

Как известно, мере движения (действию по Лагранжу) соответствует мера взаимодействия – произведение затраченной энергии (работы) на время. Равно, как кинетической энергии (мере движения) соответствует работа (мера взаимодействия), что послужило основанием для вывода теоремы об изменении кинетической энергии механической системы.

На этой базе и был получен интегральный механический критерий  $q$  технической эффективности бурения:

$$q = W \cdot t, \quad (3)$$

где  $W$  – затраченная на бурение скважины (или её интервала) энергия,  $H \cdot m$ ;  $t$  – полное время бурения скважины (или её интервала),  $s$ . Отсюда размерность критерия  $q$  оказалась соответствующей  $Dж \cdot c$ ,  $H \cdot m \cdot c$ ,  $Вт \cdot c^2$  или  $кг \cdot m^2 \cdot c^{-1}$ .

Из формулы (3) следует, что для двух сравниваемых технологий бурения, двух буровых установок, двух противопоставляемых долот и т.д., те из них в механическом отношении более совершенны (рациональны), для которых  $q$  меньше.

В процессе использования критерия  $q$  выявилась настоятельная необходимость в некоторой трансформации критерия и приведении его к единому интервалу бурения. На практике различны как глубины скважин, так и интервалы бурения. Поэтому критерий  $q$  был приведен к следующему виду:

$$q_1 = N \cdot t^2 \cdot L_6^2 / L^2, \quad (4)$$

где  $N$  – потребляемая средняя мощность;  $t$  – время бурения интервала или всей скважины;  $L$  – фактический интервал бурения или длина всей скважины;  $L_6$  – базовый интервал бурения.

Во всех случаях базовый интервал принят равным 1м. Отсюда и индекс при критерии  $q_1$  [4].

В 1996 году были утверждены «Рекомендации по определению технического уровня буровой геологоразведочной техники», в которых в качестве основополагающего использован показатель технической эффективности  $C_q$ , вычисляемый, как обратная по отношению к  $q_1$  величина. Таким образом, критерий  $q_1$  получил официальную аттестацию в ведомственном нормативном документе [8].

Можно заметить, что критерий  $q_1$  не является критерием оптимизации, это – оценочный критерий на завершающей стадии сопоставления двух альтернатив. Далее, критерий не отменяет и не противопоставляется существующим критериям, он дополняет их. Что касается физического смысла критерия  $q_1$ , то он полностью соответствует физическому смыслу действий по Лагранжу и Гамильтону (размерности одинаковы), только первый является мерой взаимодействия, а вторые – мерами движения.

С использованием критерия  $q_1$  можно установить, какая из двух разных буровых установок более совершенна в механическом отношении (естественно, эксплуатируемых в одинаковых условиях). Для какой установки  $q_1$  в численном отношении будет меньше, та и лучше.

Важнейшей задачей научных исследований в области бурения разведочных скважин является разработка комплексных, обобщенных критериев эффективности, учитывающих все стороны бурового процесса. Здесь возможны два направления исследований. Первый – путем опосредствованного использования каждого отдельного критерия. Например так, как это рекомендовано в работе [1].

Второе направление связано с поиском функциональных соотношений между различными уровнями (критериями). В работе [5] сделана попытка отыскания функциональной связи между двумя оценочными показателями: показателем  $C_q$  технической эффективности и экономическим показателем  $C_e$  средней стоимости объема бурения (на примере работы буровых станков колонкового бурения). В работе [5] для семи различных вариантов было рассчитано соотношение

$$C_q = A_1 / C_e^2, \quad (5)$$

где  $C_e$  – средняя стоимость объема бурения одним конкретным станком данной марки;  $A_1$  – постоянный коэффициент.

$$A_1 = C_{e\Sigma}^2 / (L_6^2 \cdot N), \quad (6)$$

где  $C_{e\Sigma}$  – суммарная стоимость объема бурения, выполненного всеми станками данной марки,  $L_6$  – базовый интервал бурения, равный 1м.

Для всех рассматриваемых станков был получен одинаковый вид зависимости (квадратичная гиперболоа), однако с разными значениями коэффициента  $A_1$ . Большей средней стоимости соответствуют и меньшие значения показателя  $C_q$ , что не противоречит практике и здравому смыслу. В настоящей статье предлагается использовать еще один подход.

Одной из важнейших проблем, возникающих при оценке эффективности бурения скважин, является выбор корректного способа этой оценки. Как правило, на практике применяют оценку по одному из двух фундаментальных показателей: сравнительную оценку по стоимости при фиксированном времени бурения или сравнительную оценку по времени бурения (т. е. по производительности) при заданной стоимости работ. Другими словами, стоимость буровых работ и время (производительность) обычно выступают как независимые величины. Одновременно и равновесно при сравнительной оценке эффективности процесса бурения скважины они не

используются. «Вес» же каждого из этих показателей при бурении скважин на твёрдые полезные ископаемые сам по себе весьма существен и с увеличением глубины скважин и твёрдости пород только возрастает. Информация об эффективности процесса, полученная при оценке только по одному из показателей, не может считаться представительной. Сколь-нибудь достоверный пересчёт стоимостных величин в единицы производительности (или наоборот) практически невозможен. Его применение является источником потенциально неточных оценок. Причина заключается в том, что дать достоверную денежную оценку времени, затраченного на ведение работ, в принципе невозможно из-за очень приближенного (загрубленного) характера этой оценки. В этом случае теряется сам смысл такой оценки.

Напротив, независимая одновременная оценка стоимостных затрат и времени в рамках одного показателя позволила бы избежать возникающие разночтения. Другими словами, корректная сравнительная оценка эффективности обязательно должна базироваться на одновременном независимом учёте как стоимости, так и времени производства работ.

Такая оценка необходима, в первую очередь, для выработки стратегических направлений развития буровых организаций, для выбора перспективных технико-технологических решений и др. Так, например, без такой оценки невозможно ответить на вопрос, сооружение какой из двух скважин (при одинаковом качестве работ, но разных технологиях бурения) было более эффективным, если по результатам бурения суммарная стоимость 1 метра первой скважины оказалась выше, а затраты времени на его бурение меньше, чем те же показатели по второй скважине. Ошибка в сравнительной оценке может привести к существенным просчетам в выборе и стимулировании перспективных решений и технологий и, в конечном итоге, к низкой конкурентоспособности применяемых буровых технологий.

Обоснование корректной, одновременной и независимой оценки эффективности бурения скважин как по стоимостным показателям, так и по времени, хотя и представляется весьма сложной, но является, в принципе, разрешимой задачей. Рассмотрим обоснование.

Важнейшим составным элементом критерия  $q_1$  является затраченная на 1 м бурения энергия. В самом критерии она выражена через среднюю мощность и время. Но энергию можно вычислить и через расход топлива. Подобный подход был использован в работе [9]:

$$q_{1T} = W_T \cdot t \cdot L_0^2 / L^2, \quad (7)$$

где  $q_{1T}$  – критерий технической эффективности, определяемый через расход топлива, литр · час;  $W_T$  – общий расход топлива на весь интервал бурения.

Оказалось, что критерий  $q_{1T}$  обратно пропорционален глубине скважины и почти линейно связан с механической скоростью бурения. Большим значениям механической скорости соответствует меньшие значения критерия  $q_{1T}$ , что вполне согласуется с общим представлением об осуществляемом процессе.

Исходя из этого, было предложено расход топлива заменить на стоимость этого топлива.

В качестве исходной была принята формула (3), которая преобразовалась в соотношение:

$$q_c = C_T \cdot t_{скв}, \quad (8)$$

где  $q_c$  – критерий  $q$ , выраженный в руб · сутки;  $C_T$  – общая стоимость топлива, затраченного на бурение скважины в руб.;  $t_{скв}$  – полное время бурения всей скважины, сутки.

Произведем дальнейшие преобразования формулы (8), приведя её к базовому интервалу бурения, равному 1 м. Для этого значение величины  $q_c$  в (8) отнесем к базовому интервалу бурения и обозначим  $q_{1c}$ . В качестве рабочих моделей примем, как и в (4), линейные зависимости, связывающие базовые и полные значения параметров:

$$t_1 = t_{скв} \cdot L_0 / L, \quad (9)$$

$$C_{1T} = C_T \cdot L_0 / L, \quad (10)$$

где  $C_{1T}$  – стоимость топлива, приходящегося на 1 м бурения;  $t_1$  – время, затраченное на 1 м бурения.

Тогда соотношение (8) приобретает вид:

$$q_{1c} = C_{1T} \cdot t_1, \quad (11)$$

или

$$q_{1c} = C_T \cdot t_{скв} \cdot L_0^2 / L^2. \quad (12)$$

Формула (12) по структуре полностью соответствует формулам (4) и (7).

Продолжим рассуждения дальше. Однозначным денежным эквивалентом затрат энергии на бурение скважины является стоимость производства работ. По предложению В.В. Куликова, данное утверждение было положено [6] в основу последующих обобщений. Предположим, что в формуле (8) включена не только стоимость одного топлива, а все понесенные затраты на сооружение скважины  $C_{\text{общ}}$ . Тогда формула (12) примет вид:

$$(q_{1c})_{\text{общ}} = C_{\text{общ}} \cdot t_{\text{скв}} \cdot L_6^2 / L^2. \quad (13)$$

Но

$$C_{\text{общ}} = C_1 \cdot L / L_6, \quad (14)$$

$$t_{\text{скв}} = t_1 \cdot L / L_6, \quad (15)$$

где  $C_1$  – стоимость бурения 1м скважины (широко используемая в экономике величина), руб.;  $t_1$  – время сооружения 1 м скважины, сутки.

Окончательно получим:

$$(q_{1c})_{\text{общ}} = C_1 \cdot t_1 = C_1 / \text{Пр} = C_2 \cdot t_1^2 = C_2 / \text{Пр}^2, \quad (16)$$

где  $(q_{1c})_{\text{общ}}$  – критерий оценки эффективности буровых технологий по конечным результатам производства работ, руб. · сутки;  $C_1$  – стоимость бурения 1 метра скважины, руб.;  $t_1$  – время бурения 1 метра скважины, сутки;  $\text{Пр}$  – суточная производительность бурения,  $\text{Пр} = 1 / t_1$ ;  $C_2$  – стоимость 1 суток сооружения скважины, руб.

Чем меньше величина  $(q_{1c})_{\text{общ}}$ , тем эффективнее применяемая технология.

Мы получили выражение (16), определяющее меру эффективности деятельности человека в области бурения скважин, учитывающее производительность труда и полные произведённые затраты.

При этом авторы отдают себе отчёт в том, что примененный ими приём расширения (обобщения) исходного действия по Лагранжу на немеханические процессы требует проверки и уточнения в производственных условиях. В то же время, полученный результат не противоречит основам экономики и дает надежду на значимость решения.

Пока в стороне остаётся оценка качества производства работ. Но это – предмет дальнейших исследований.

Рассмотрим близкий к практике пример. Предположим, буровым снарядом с одинарным колонковым набором пробурена скважина глубиной 2400 м. Стоимость скважины составляет 3 млн. рублей. Время бурения скважины составляет 6 месяцев (180 суток). В тех же геологических условиях, с тем же качеством, комплексом КССК-76 пробурена скважина глубиной 2250 м стоимостью 3,5 млн. рублей за время 4,5 месяца (135 суток). Какой из способов бурения был более предпочтительным?

Несложные расчёты позволяют определить значение  $(q_{1c})_{\text{общ}}$  для первой и второй скважины:

$$(q_{1c})_{\text{общ} 1} = (3 \cdot 10^6 / 2400) \cdot (180 / 2400) = 93,75 \text{ руб.} \cdot \text{сутки};$$

$$(q_{1c})_{\text{общ} 2} = (3,5 \cdot 10^6 / 2250) \cdot (135 / 2250) = 93,33 \text{ руб.} \cdot \text{сутки}.$$

Можно утверждать, что оба использованные способа бурения по данному критерию почти равноценны. Однако небольшое предпочтение следует отдать второму (с применением КССК-76) способу ( $(q_{1c})_{\text{общ} 2} < (q_{1c})_{\text{общ} 1}$ ): хотя стоимость бурения 1 метра скважины у него выше (1556 руб.), чем у первого (1250 руб.), зато суточная производительность проходки более значительна (16,6 м при бурении КССК-76 и 13,3 м при бурении одинарным колонковым набором).

Таким образом, нами предложен новый обобщённый критерий оценки эффективности буровых технологий, учитывающий (одновременно и независимо) стоимость бурения 1 метра скважины (стоимость 1 суток сооружения скважины) и суточную производительность труда.

### Библиографический список

1. Козловский Е.А., Ребрик Б.М., Калинин В.Н. Комплексная оценка эффективности способов, технических средств и технологии геологоразведочного бурения. (Техн., технол. и организация геологоразведочных работ). Обзор. М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1998. 26с.

2. Лагранж Ж.Л. Аналитическая механика. Том I (594 с.). Том II (440с.). М.-Л.: Гос. изд-во техн.-теор. литературы, 1950.
3. Ребрик Б.М. Новый механический критерий технической эффективности способов бурения и технических средств // В сб. «Основные научные направления в создании и освоении минерально-сырьевой базы страны». М.: Недра, 1988. С.183 – 189.
4. Ребрик Б.М. Механический критерий технической эффективности разведочного бурения // Разведка и охрана недр. 1988. С.24 – 26.
5. Ребрик Б.М., Бежанов К.А., Волков А.М., Арсентьев Ю.А., Некоз С.Ю. Взаимосвязь технического и экономического критериев эффективности буровых станков // В сб. «Совершенствование техники и технологии бурения скважин на твердые полезные ископаемые». Вып.16. Екатеринбург: Уральский горный институт, 1993. С. 6 – 9.
6. Ребрик Б.М., Куликов В.В. Сравнительная оценка эффективности технологий строительства нефтяных и газовых скважин по конечным результатам работы // Инженер – нефтяник. 2010. №4. С. 19 – 23.
7. Ребрик Б.М., Смирнов Н.В., Полежаев А.П. О критериях технической эффективности процесса бурения скважин // В сб. «Технический прогресс в технике и технологии разведки месторождений полезных ископаемых». №11. М.: МГРИ, 1989. С.6 – 21.
8. Рекомендации по определению технического уровня буровой геологоразведочной техники. М.: АОЗТ «Геоинформмарк», 1996. 56 с.
9. Самбург А.Е, Жаров А.С., Ребрик Б.М. Опыт бурения гидрогеологической скважины // Изв. вузов. Геология и разведка. 2009. №1. С.80 – 82.

© Ребрик Б. М., Куликов В. В., 2011.

#### **Анотація**

Розглянуто оціночні критерії ефективності технологій буріння свердловин. Дано обґрунтування та запропоновано новий узагальнений критерій порівняльної оцінки ефективності технологій буріння свердловин на тверді корисні копалини.

Ключові слова: критерій ефективності, технологія буріння.

#### **Abstract**

Considered evaluation criteria for performance drilling technology. Given the rationale and proposed a new generalized criterion of comparative evaluation of the effectiveness of drilling technology for solid minerals.

Keywords: efficiency criterion, drilling technology.