

**О ВЕЛИЧИНЕ СТАТИЧЕСКОГО УСИЛИЯ, НЕОБХОДИМОГО
ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ КОЛОННЫ ТРУБ ИЗ ИСКРИВЛЕННОЙ
СКВАЖИНЫ**

В. П. РОЖКОВ

(Представлена научным семинаром кафедры техники разведки)

Определение статического усилия, необходимого для извлечения колонны труб из искривленной скважины*), имеет важное значение при проектировании подъемных механизмов и сооружений, при расчете элементов колонны бурильных труб на прочность. С вопросом определения статического усилия тесно связан вопрос нахождения такого рационального профиля направленной скважины, при проведении которой затрачивалось бы минимум энергии и времени на подъем инструмента. Этот вопрос приобретает особо важное значение при проектировании глубоких направленных скважин и имеет не только техническое, но и экономическое значение.

Статическое усилие легко определяется, если скважина прямолинейна. Однако такие скважины встречаются сравнительно редко. Если скважина (особенно значительной глубины) не искривляется по заранее разработанному профилю, то она, как правило, искривляется самопроизвольно. Статическое же усилие в случае искривления скважины зависит не только от собственного веса колонны, но и от профиля скважины.

В технической литературе [1, 2] вопрос о расчете сил трения и статического усилия рассматривается или при постоянной интенсивности зенитного и азимутального искривления, или при постоянном зенитном или азимутальном угле. Несмотря на такие условности, конечные зависимости оказываются очень громоздкими и применимыми только к отдельным интервалам скважины. Кроме того, для естественно искривленных скважин дробового бурения, которым характерно увеличение интенсивности зенитного искривления с глубиной, эти зависимости вообще не могут быть применены.

В данной статье будет рассмотрен случай искривления скважин только в вертикальной плоскости. На практике плоскоискривленные скважины встречаются сравнительно редко. Однако если скважины задают вкрест простирания основных структур, то их азимутальное искривление обычно незначительно, и скважины с достаточной степенью точности можно считать плоскоискривленными.

Скважины, пробуренные в твердых породах, на отдельных участках могут или уменьшать, или увеличивать зенитный угол; в целом же такие

*) Ради краткости выражений в дальнейшем будет называться просто статическим усилием.

скважины, как правило, выполаживаются. Одна из таких скважин изображена на рис. 1. Предположим, что в нее опущена колонна бурильных труб. Требуется определить статическое усилие, необходимое для их извлечения.

При решении поставленной задачи предположим, что скважина искривляется настолько плавно, что при подъеме инструмента не возникает дополнительного сопротивления из-за резкого перегиба. Это предположение оправдывается тем, что бурение геологоразведочных скважин в большинстве случаев осуществляется длинными колонковыми снарядами. В то же время это положение оказывается настолько существенным, что позволяет значительно упростить конечные зависимости.

Рассмотрим отдельный элемент колонны длиной dl с центром тяжести в точке O . Пусть средний вес одного метра труб в скважине (с учетом поправок на архимедову силу и утяжеление за счет соединений) равен q . Тогда средний вес выделенного элемента труб равен

$$dG = qdl.$$

Для решения поставленной задачи вес элемента в наклонной части скважины заменим составляющими M и K . Кроме того, к элементу приложим силу T_1 , действующую со стороны нижележащей части, и вторую силу T_2 — со стороны вышележащей части. Элемент будет находиться в состоянии покоя, если сумма всех сил, действующих вдоль его оси, будет равна нулю. В аналитической форме это условие может быть записано как

$$T_2 = T_1 + M + fK$$

или после подстановки значения каждого слагаемого — дифференциальным уравнением

$$dT = T_2 - T_1 = q(dl \cdot \cos \theta_i + fdl \cdot \sin \theta_i), \quad (1)$$

где dT — приращение статического усилия на рассматриваемом элементарном участке колонны труб;

θ_i — зенитный угол скважины в рассматриваемой точке;

f — коэффициент трения бурового инструмента о стенки скважины.

Полное статическое усилие равно

$$T = q \int_0^x dl \cos \theta_i + \int_0^y dl \cdot \sin \theta_i = q \int_0^x dx + qf \int_0^y dy. \quad (2)$$

Так как выражения, стоящие под знаками интегралов, представляют собой не что иное как проекции элемента dl на вертикальную и горизонтальную оси, то определенные интегралы являются проекциями колонны

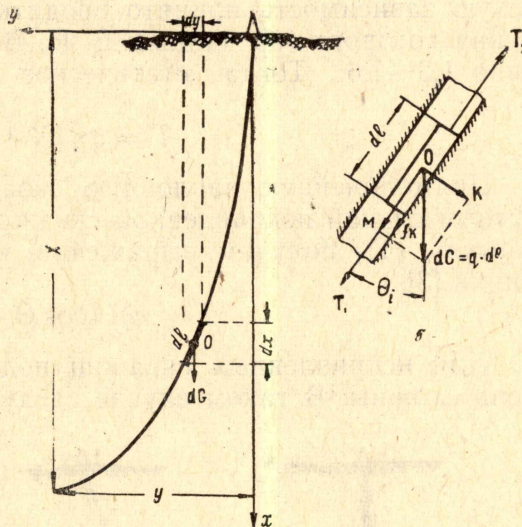


Рис. 1. Схема выполаживающей скважины (а) и схема разложения сил тяжести элементарного участка колонны труб в искривленной скважине (б)

труб, опущенных в скважину, или, иначе говоря, проекциями искривленной скважины. Статическое усилие в таком случае может быть выражено простой формулой

$$T = q(X + fY), \quad (3)$$

где X , Y — соответственно вертикальная и горизонтальная проекции искривленной скважины.

По данным Б. И. Воздвиженского и М. Г. Васильева [3], «вследствие малого просвета между стенками скважины и колонковой трубой последняя оказывает значительное сопротивление подъему, особенно если она несет открытую кверху шламовую трубу». Поэтому в аналитическую зависимость принято вводить поправочный коэффициент η , величина которого (по данным Б. И. Воздвиженского и М. Г. Васильева) равна 1,3—1,6. Тогда статическое усилие окончательно выразится

$$T = q\eta(X + fY). \quad (4)$$

Прямолинейную наклонную скважину можно рассматривать как частный случай искривленной скважины. Поэтому применив для нее формулу (4), получим выражение, которое известно из буровой механики [3].

$$T = \eta ql (\cos \Theta + f \sin \Theta).$$

Для искривленных скважин подобные окончательные зависимости очень сложны. В таком случае следует прибегать к предварительному расчету проекций, которые можно определить любым из известных аналитических или графических способов.

Из формул (3) и (4) вытекает любопытное следствие: если скважина в целом выполаживается и ее максимальные проекции соответствуют забю, то статическое усилие не зависит от того, каким конкретным путем скважина достигла забю, а зависит только от величины ее вертикальной и горизонтальной проекций. Так, для всех вариантов искривленных скважин, которые на конечной глубине приходят в одну и ту же точку (рис. 2, а), статическое усилие будет одним и тем же. Это положение, конечно, ни в коем случае нельзя распространять на скважины, у которых постоянно уменьшается зенитный угол, так как из-за натяжения колонны появляется дополнительное усилие, приживающее колонну к лежащей стенке. Скважины такого типа изображены на рис. 2, б. Несмотря на это, зависимость (4) можно применять к скважинам, имеющим отдельные участки выкручивания, но в общих чертах, носящих характер выполаживания. Это тем более допустимо, что в формулу введен поправочный коэффициент.

При проектировании направленных скважин необходимо стремиться к тому, чтобы статическое усилие при подъеме труб с конечной глубины было как можно меньшим. Это позволит производить подъем инст-

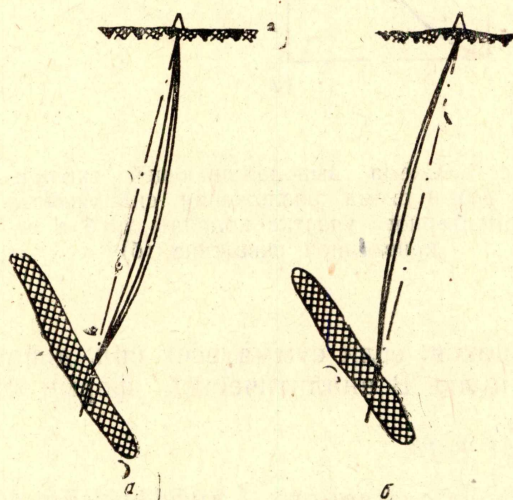


Рис. 2. Возможные варианты выполаживающихся (а) и «выкручивающихся» (б) скважин, забю которых приходят в одну и ту же точку

румента на более высоких скоростях и, следовательно, приведет к экономии времени на подъемных операциях.

Уменьшить вертикальную проекцию чаще всего не представляется возможным. Уменьшение горизонтальной проекции (при заданной интенсивности искривления) приведет к уменьшению зенитного угла встречи скважины с рудным телом и одновременно к уменьшению метража скважины. Таким образом, в целях сокращения сроков проведения направленной скважины она должна пересечь рудное тело под минимально допустимым углом.

Заключение

Если ствол выполаживающейся скважины настолько гладок, что при движении по нему колонны труб последняя не испытывает резких перегибов, то может быть получена достаточно строгая математическая зависимость между усилием подъема и взаимным расположением в пространстве устья и забоя скважины. Такая зависимость описывается формулами (3) и (4).

ЛИТЕРАТУРА

1. В. А. Харьков. О статическом усилии, необходимом для подъема колонны труб из искривленной скважины. НХ, № 5, 1959.
 2. М. М. Александров. Количественная оценка силы трения при движении инструмента в искривленной скважине. Изв. высш. учебн. завед., Нефть и газ, № 4, 1959.
 3. Б. И. Воздвиженский, М. Г. Васильев. Буровая механика. Изд. третье. Госгеолтехиздат, М., 1954.
-