

**ЛИКВИДАЦИЯ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ ПРИ ПРОКЛАДКЕ
ТРУБОПРОВОДОВ МЕТОДОМ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО
НАПРАВЛЕННОГО БУРЕНИЯ**

EMERGENCY RESPONSE IN THE PIPELINE CONSTRUCTION BY HORIZONTAL
DIRECTIONAL DRILLING

И. Е. Кирьянов, Ю. Д. Земенков, С. М. Дорофеев, В. С. Торопов

I. E. Kiryanov, Yu. D. Zemenkov, S. M. Dorofeev, V. S. Toropov

Тюменский государственный нефтегазовый университет, г. Тюмень

Тюменское высшее военно-инженерное командное училище, г. Тюмень

Ноябрьский институт нефти и газа, г. Ноябрьск

*Ключевые слова: горизонтальное направленное бурение; трубопровод; осложнения; аварии;
выталкивание; шнуровые кумулятивные заряды*

*Key words: horizontal directional drilling; pipeline; complications; accident; expulsion;
cord shaped charges*

В силу объективных причин бестраншейное строительство переходов трубопроводов даже таким современным методом, как горизонтальное направленное бурение, может приводить к осложнениям и авариям в процессе производства работ.

Существующие на сегодняшний день способы предотвращения таких аварий не являются гарантией предотвращения осложнений и аварийных остановок бурового комплекса при выполнении пилотного бурения и протаскивании рабочего трубопровода.

Отсутствие достоверных геологических данных, неправильно подобранная рецептура бурового раствора, недостаточная мощность буровой установки, ошибки проектирования профиля перехода — эти и другие факторы приводят при использовании метода ГНБ к возникновению аварий различной степени тяжести.

Осложнения и аварийные ситуации на этапе бурения пилотной скважины устраняются посредством простых манипуляций с буровым оборудованием, а именно изменением угла наклона буровой головки, подачей вперед-назад буровой колонны с вращением и без и т. д.

В случаях невозможности продолжение бурения применяются также такие приемы, как перебазирование буровой установки с выбором другой точки забуривания, изменение профиля пилотной скважины, и конечно, изменение состава бурового раствора и использование различных реагентов. Конкретный состав мероприятий зависит от используемого бурового оборудования и геологических условий в створе перехода.

Обратное расширение скважины достаточно редко вызывает осложнения при условии удачного пилотного бурения, и затруднения возникают, как правило, либо на этапе пилотного бурения, либо уже непосредственно при протяжке трубопровода.

При выполнении финального этапа сооружения перехода, а именно протаскивания рабочего трубопровода с обратным разбуриванием, имеют место факторы, осложняющие ликвидацию возможных аварийных ситуаций.

Увеличенный диаметр скважины предполагает повышенные требования к объему закачиваемого бурового раствора с целью выноса большего количества шлама и для смазки поверхности контакта трубопровода и скважины [1]. Наличие в скважине трубопровода ведет к использованию буровой установки на предельных показателях силы тяги и почти полностью может лишить резерва мощности, необходимого для преодоления затруднений в процессе протаскивания [2]. На этапе протаскивания трубопровод уже сварен в нитку и уложен на опоры, конфигурация строительной площадки с обеих сторон скважины уже сформирована, и это полностью лишает исполнителя возможности перебазирования буровой установки, что тоже является ограничивающим фактором [3].

В таких условиях необходим комплекс организационных мер и соответствующее оборудование для возобновления и успешного завершения работы при возникновении неожиданных осложнений и аварийных остановок именно в процессе протаскивания трубопровода. Технология ликвидации аварий и осложнений в процессе протаскивания трубопровода должна включать следующее:

- алгоритм действий по ликвидации аварий;
- оборудование для ликвидации аварий, применяемое в соответствии с алгоритмом;
- рекомендации по применению мероприятий и оборудования, основанные на расчетах для различных исходных данных и обстоятельствах аварии.

Возможно применение нескольких схем ликвидации аварийной ситуации и освобождения трубы, застрявшей в результате обрушения грунта в скважине или обжатия ее пластическим давлением, в частности:

- подача бурового инструмента установки «от себя», для «страгивания» при коротком наборе буровых штанг;
- подача бурового инструмента установки «от себя» с одновременным вытягиванием трубопровода из скважины со стороны монтажной площадки джукера;
- подача «на себя» с приложением усилий по проталкиванию трубопровода в скважину со стороны монтажной площадки джукера;
- использование пневмударной установки в качестве вспомогательного оборудования при обратном разбуривании и протяжке трубопровода;

- использование пневмударной установки для вытягивания застрявшей трубы из скважины со стороны монтажной площадки джокера;
- резка рабочего трубопровода с помощью внутренних шнуровых кумулятивных зарядов и эвакуации из скважины обратного расширителя и буровых труб.

Эффективность каждой из перечисленных схем будет определяться общей длиной скважины, а также соотношением длины протягиваемого трубопровода и длины штанг буровой установки.

Применение первой схемы ограничено потерей устойчивости штанг и небольшой величиной длины «страгивания», обусловленной подвижкой трубы при ее изгибе в скважине. При этом, учитывая разницу в жесткости трубопровода и штанг установки, данная схема может быть применена только на конечной стадии протяжки трубопровода на участке выхода джокера из скважины [4, 5].

При вытягивании трубопровода из скважины со стороны монтажной площадки джокера, по второй схеме, возникает большое сопротивление от расширителя вследствие бульдозерного эффекта и возникновения перед ним грунтовой пробки.

Схема, предусматривающая приложение усилий по проталкиванию трубопровода в скважину со стороны монтажной площадки джокера, может, как показывают расчеты, быть реализована для значений сил, сопоставимых с достаточными для вывода установки из аварийного состояния.

Определим напряжение в трубе, если ее толкать горизонтальной осевой силой N (рис. 1).

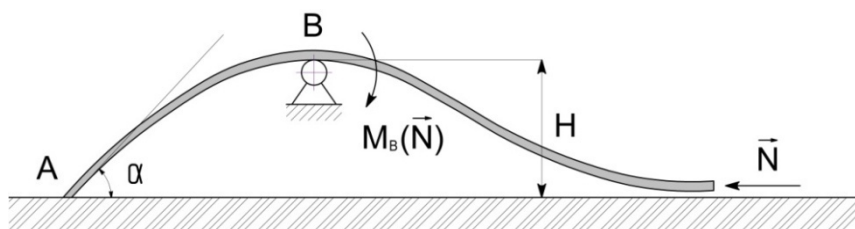


Рис. 1. Расчетная схема толкания горизонтальной силой трубопровода, находящегося на поверхности

Предполагается, что труба опирается на неподвижную опору в точке B . Момент силы N относительно точки B будет равен

$$M_B(\vec{N}) = H \cdot N, \quad (1)$$

направлен как показано на рис. 1 и совпадает с направлением момента от сил веса.

Для трубы диаметром 530 мм и толщиной стенки $\delta = 10$ мм, при $\alpha = 5^\circ$ и $H = 1,9$ м, для значений силы $N = 10^5 H$ получим

$$M_B = 190 \cdot 10^3 H \cdot \text{м}.$$

Соответствующее этому напряжение составит

$$\sigma_N = \frac{M \cdot r}{I} = 10,3 \cdot 10^7 \approx 100 \text{ МПа}. \quad (2)$$

Напряжение от изгиба по радиусу $R = 1000 D$ будет равно

$$\sigma_{изг} \approx 100 \text{ МПа}.$$

Таким образом, суммарное напряжение составит $\sigma \approx 200 \text{ МПа}$,

что меньше $\sigma_T \approx 340 \text{ МПа}$ для стали 09Г2С.

Для оценки сил сопротивления, действующих на трубопровод при проталкивании в скважину, рассмотрим расчетную схему, представленную на рис. 2.

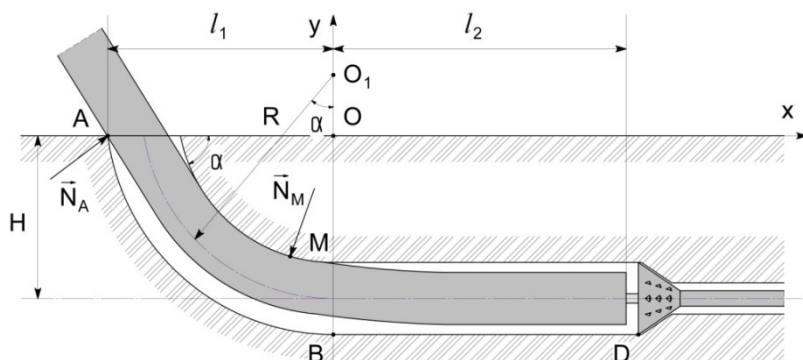


Рис. 2. Расчетная схема для определения сил, действующих на трубопровод в скважине

В точках A и M на трубу действуют силы реакции со стороны стенок скважины и силы трения. В точке D сила сопротивления действует на расширитель. Найдём силу давления на стенку скважины в точке D при «чистом» проталкивании. Представим участок AB как дугу окружности радиуса $R + \frac{D_{\text{скв}}}{2}$, угол входа в скважину α , участок BD — прямой.

Для определения силы давления в точке M надо найти прогиб трубы W . Будем считать, что касательная к стенке скважины в точке M параллельна оси прямого стержня (рис. 3).

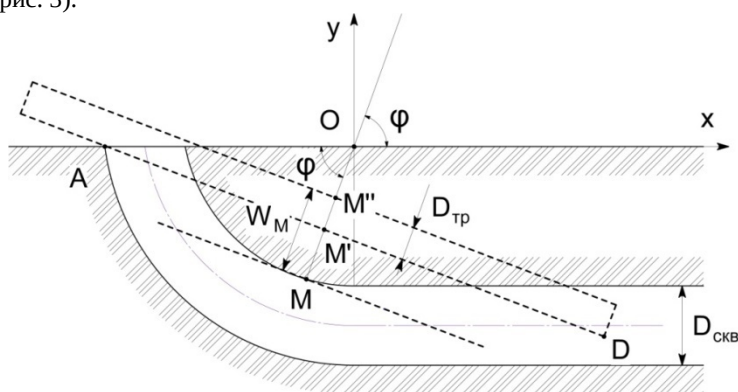


Рис. 3. Расчетная схема для нахождения силы, создающей прогиб трубопровода в скважине

Координаты x_M и y_M в этом случае можно найти как

$$x_M = -\sqrt{\frac{y_D \left(R - \frac{D_{\text{скв}}}{2} \right)^2}{(x_D - x_A)^2 + y_D^2}}, \quad (3)$$

$$y_M = \left(R - H - \frac{D_{\text{скв}}}{2} \right) - \sqrt{\left(R - \frac{D_{\text{скв}}}{2} \right)^2 - x_M^2} . \quad (4)$$

А точек x_M , и y_M , соответственно

$$x_{M'} = \frac{x_M \cdot y_D \cdot x_A}{x_M \cdot y_D - y_M (x_D - x_A)} , \quad (5)$$

$$y_{M'} = \frac{y_M}{x_M} \cdot x . \quad (6)$$

Находим величины OM и OM''

$$OM = \sqrt{x_M^2 + y_M^2} , \quad (7)$$

$$OM'' = \sqrt{x_{M'}^2 + y_{M'}^2} - D . \quad (8)$$

Теперь прогиб

$$W_M = OM - OM'' . \quad (9)$$

Если окажется, что $W_M < 0$, это будет означать, что точки M нет, то есть трубопровод не касается стенки скважины в точке M , что может иметь место в самом начале входа трубопровода в скважину.

Далее находим силу, необходимую для того, чтобы создать прогиб W_M (рис. 4).

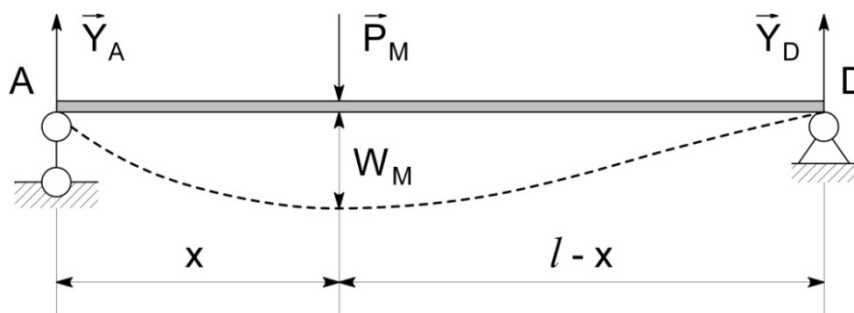


Рис. 4. Расчетная схема для нахождения величины силы, изгибающей трубопровод в скважине

Прогиб равен [1]:

$$W_M = \frac{P_M x^2 (L - x)^2}{6EI \cdot l} . \quad (10)$$

Отсюда

$$P_M = \frac{6EI \cdot l \cdot W_M}{x^2 (L - x)^2} . \quad (11)$$

Реакции на Y_A и Y_D

$$\sum M_A : -P_M x + Y_D l = 0 \quad \Rightarrow \quad Y_D = \frac{P_M x}{l} , \quad (12)$$

$$\sum M_D: P_M(l-x) - Y_A l = 0 \Rightarrow Y_A = \frac{P_M(l-x)}{l}. \quad (13)$$

Сила трения в точках A и M :

$$F_{mp} = f(|Y_A| + |P_M|), \quad (14)$$

где f — коэффициент трения.

Если конец трубопровода в точке D перемещается относительно стенки скважины, то

$$F_{mp} = f(|Y_A| + |Y_D| + |P_M|). \quad (15)$$

Таким образом, при заполнении трубопровода водой и обнулении его веса, сопротивление возникает в основном на участках входа и выхода трубопровода из скважины. Кроме того, в системе трубопровод-скважина на этих участках действует сила, изгибающая трубопровод.

Использование пневмоударной установки для вытягивания застрявшей трубы из скважины со стороны монтажной площадки джокера, в соответствии с четвертой схемой, является дополнительным фактором воздействия на трубопровод, позволяющим значительно снизить силы трения на искривленных участках.

Технология ликвидации аварийной ситуации предполагает, в самом сложном случае, обрезание взрывом с помощью ШКЗ рабочего трубопровода, что позволит перейти к эвакуации из скважины наиболее ценного оборудования — расширителя и буровых труб, путем вытягивания их буровой установкой «на себя».

Список литературы

1. Торопов В. С., Осыка А. В., Торопов Е. С. Протаскивание трубопровода в объемно искривленные скважины. Тезисы докладов межрегиональной молодежной научной конференции «Севергеозкотех-2001» 21-23 марта 2001. — Ухта: УГТУ, 2001. — С. 70-71.
2. Торопов Е. С., Кирьянов И. Е., Торопов В. С. Методы снижения энергозатрат в процессе протяжки трубопровода в скважину при использовании технологии наклонно направленного бурения для сооружения промышленных объектов. Международная конференция «Нефть и газ. АТР — 2014». Ресурсы, транспорт, технологии. — Владивосток, 20-23 мая 2014.
3. Торопов С. Ю., Торопов В. С. Особенности прокладки полиэтиленовых труб под водными преградами. Сборник научных трудов «Проблемы эксплуатации и ремонта промысловых и магистральных трубопроводов». — Тюмень: ТюмГНГУ, 1999. — С. 26-27.
4. Торопов С. Ю., Дорофеев С. М. Вывод уравнения устойчивости стержня с ограничениями. Сборник научных трудов: Математическое и информационное моделирование. — Тюмень: ТюмГНГУ, 2005. — С. 8-14.
5. Торопов С. Ю., Дорофеев С. М., Качур В. М., Пономарева Т. Г. Определение положения ремонтного оборудования во внутренней полости трубопровода // Известия вузов. Нефть и газ. — 2005. — № 4. — С. 5-7.
6. Писаренко Г. С., Яковлев А. П., Матвеев В. В. Справочник по сопротивлению материалов. — Киев: Наук. думка, 1988. — 736 с.

Сведения об авторах

Кирьянов Илья Евгеньевич, аспирант кафедры «Транспорт углеводородных ресурсов», Тюменский государственный нефтегазовый университет, г. Тюмень, тел. 8(3452)201931, e-mail: 600906@mail.ru

Земеников Юрий Дмитриевич, д. т. н., профессор, заведующий кафедрой «Транспорта углеводородных ресурсов», Тюменский государственный нефтегазовый университет, г. Тюмень, тел. 8(3452)201931, e-mail: zemenkov@tsogu.ru

Дорофеев Сергей Михайлович, к. т. н., доцент кафедры «Естественно-научные дисциплины», Тюменское высшее военно-инженерное командное училище, г. Тюмень, тел. 8(3452)434121, e-mail: dorludm@mail.ru

Торопов Владимир Сергеевич, к. т. н., доцент кафедры «Транспорт и технологии нефтегазового комплекса», Ноябрьский институт нефти и газа, г. Ноябрьск, тел. 8(3496)428389, e-mail: 264301@mail.ru

Information about the authors

Kiryanov I. E., post graduate, Department «Hydrocarbon resources transport», Tyumen State Oil and Gas University, phone: 8(3452)201931, e-mail: 600906@mail.ru

Zemenkov Yu. D., Doctor of Technical Sciences, professor, head of the chair «Hydrocarbon resources transport», Tyumen State Oil and Gas University, phone: 7(3452)201931, e-mail: zemenkov@tsogu.ru

Dorofeev S. M., Candidate of Technical Sciences, associate professor of the chair «Applied and Pure Sciences», Tyumen Higher Military-Engineering School (Military Institute), Tyumen, phone: 8(3452)434121, e-mail: dorludm@mail.ru

Toropov V. S. Candidate of Technical Sciences, associate professor of the chair «Transport technology and oil and gas industry», November Oil and Gas Institute, Noyabrsk, phone: 8(3496)428389, e-mail: 264301@mail.ru