

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРОМЫВКИ ПРИ БУРЕНИИ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СКВАЖИН УСТАНОВКАМИ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО НАПРАВЛЕННОГО БУРЕНИЯ

Рассмотрены вопросы прокладки трубопроводов по бестраншейной технологии, позволяющей проводить реконструкцию и ремонт коммуникаций под непрерывно функционирующими транспортными магистралями (железные и автомобильные дороги). Разработаны технология промывки при бурении горизонтальных скважин, параметры промывающей жидкости для конкретных геологических условий и определение параметров насосно-нагнетательной станции.

The article studies issues of trenchless pipe driving technology which allows to carry out reconstruction and repairs of pipelines under permanently functioning thoroughfares (railroads and motorways). A flushing technology is developed for horizontal well sinking, parameters of the flushing liquid for specific geological conditions are established and parameters the pumping station are determined.

В связи со всевозрастающими объемами строительства подземных коммуникаций в крупных городах России весьма актуальна проблема поиска более прогрессивных технологий, так как совокупность недостатков, присущих известным традиционным способам, приводит к тому, что значительные капитальные вложения в коммунальное хозяйство не в полной мере решают проблемы удовлетворения растущих потребностей городов в коммунальных услугах.

Наибольшее распространение получили бестраншейные технологии с применением микротоннелепроходческих комплексов (МТПК), установок горизонтального направленного бурения (УГНБ), установок управляемого прокола (УУП).

В то же время практика внедрения этих технологий показывает, что проектные организации порой не всегда обоснованно могут выбрать оборудование и конкретную технологию с учетом условий строительства, обеспечить эффективное и безаварийное производство работ и полностью использовать накопленный производственный опыт, так как имеющаяся информация по использованию современных проходческих ком-

плексов разрозненная и не позволяет полностью раскрыть их потенциал.

В данной работе рассматривается возможность применения УГНБ для проходки коммуникационных тоннелей [2, 3]. Установки УГНБ бывают двух типов – котлованные и самоходные.

УГНБ состоит из пяти основных частей: гидравлического привода; силового дизельного агрегата с маслостанцией; насосно-нагнетательной станции, снабженной индивидуальным дизельным двигателем, которая подает водно-бентонитовую суспензию (буровую жидкость) в рабочую зону бурения; миксера для приготовления суспензии, состоящего из резервуара для воды и готовой суспензии, бункера для загрузки бентонита и насосной станции с автономным дизельным двигателем; приемно-передающей локационной системы, предназначенной для определения координат местонахождения буровой лопатки.

Комплекс снабжается комплектом буровых штанг (обычно в количестве 80 штук, каждая длиной по 60 см), бурильными лопатками и набором расширителей-риммеров.

При разработке технологических параметров бурения установкой ГНБ были использованы рекомендации СНиП 11-01-95 «Инструкция о порядке разработки, согласования, утверждения и состава проектной документации на строительство предприятий, зданий и сооружений» и МГСН 6.01-03 «Бестраншейная прокладка коммуникаций с применением микротоннелепроходческих комплексов и реконструкция трубопроводов с применением специального оборудования».

Современные УГНБ в зависимости от установленной мощности двигателя, крутящего момента и силы обратной протяжки позволяют бурить скважины с последующим их расширением в диапазоне от 160 до 1000 мм при длине бурения до 800 м и более, при этом радиус изгиба буровой колонны может изменяться от 21 до 70 м.

Технические характеристики УГНБ представлены в таблице.

Важным вопросом при реализации УГНБ является обоснование закономерностей промывки бурящейся скважины промывочной жидкостью. Промывочная жидкость, закачиваемая в скважину, должна обеспечивать очистку забоя от частиц разбуренной породы, устойчивость стенок

скважины, охлаждение породоразрушающего инструмента; облегчать разрушение породы на забое за счет физико-химического воздействия на нее; смазывать трущиеся о стенки скважины части бурового снаряда [1].

Состав буровой суспензии подбирается исходя из свойств грунта на участке бурения. В настоящее время, как правило, в качестве промывочной жидкости применяют бентонитовые растворы.

Особенностью бентонитовых растворов является их тиксотропия. Это означает, что суспензия, находящаяся в движении, имеет свойства жидкости, а в состоянии покоя приобретает гелеобразную форму. Это физическое явление позволяет с легкостью перекачивать бентонитовый раствор, и в то же время этот раствор может служить опорной жидкостью для поддержания грунта в забое.

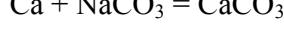
Устойчивость суспензии и свойства бентонитового раствора, такие как плотность, вязкость, предел текучести и отдача фильтрованной воды, зависят от следующих факторов: типа бентонита, его концентрации, продолжительности перемещения, времени набухания, содержания солей и других примесей в воде затворения и в почвенных (грунтовых) водах.

Установки горизонтального направленного бурения «Vermeer Navigator», США

Модель	Длина, см	Вес со штангой, кг	Мощность двигателя, л.с.	Рабочие характеристики		Параметры бурения				
				Максимальный крутящий момент, Нм	Сила протяжки, кг	Длина буровых штанг, см	Диаметр штанг, мм	Максимальное расширение, мм	Максимальная длина бурения, м	Подача буровой смеси, л/мин
PL8000	177/137	476	20	1220	3990	91/61	48	300	95	68
D7×11A	404	2200	38	1505	3538	180	33/42	300	95	34
D7×11AQS	348	1900	38	1491	3538	180	30	300	95	34
D10×15	478	3946	50	2034	4536	300	42	300	130	51
D16×20A	478	3992	63	2708	7258	300	48	410	190	95
D18×22	521	5062	85	2983	8165	300	48	410	220	95
D24×33	569	7711	115	4474	10886	300	52	410	300	95
D24×40A	516	7530	125	5423	10886	300	60	600	320	144
D33×44	538/691	8981/9299	125	5965	14968	300/460	60	600	360	189
D55×100	909	16556	185	13588	24948	460	73	1000	600	568
D80×120	1040	17690	225	16246	36288	610	89	1000	800	757
D100×120	1040	17690	225	16270	45359	610	89	1000	900	757
D150×300	1625	34473	400	40680	68039	До 1040	110	1000	1400	По заказу
D200×300	1625	34473	400	40680	90719	До 975	110	1200	1400	По заказу

Вода для затворения должна обладать следующими свойствами:

- уровень pH для достаточного набухания бентонита должен быть между 7 и 9, а вода не должна быть жесткой. Значение pH определяется с помощью индикаторных бумажных полосок;
- жесткость воды должна быть $\leq 20 \text{ dH}$. Если концентрация ионов Ca и Mg превышает 200 %, необходимо проводить ее обработку кальцинированной содой:



В зависимости от степени загрязнения для обработки раствора требуется 0,5-3 кг/м³ кальцинированной соды, что позволит поддерживать значение pH порядка 9.

Для необходимых вязкости и текучести раствора важна продолжительность перемешивания и сдвиговое действие, а также турбулентность смешивающего инструмента: чем больше продолжительность перемешивания, тем меньше может быть время набухания бентонита. Минимальная продолжительность перемешивания 10 мин, а времени набухания 20 ч.

Предел текучести должен составлять для глинистых илистых песков 13-20 Н/м², мелкозернистых и среднезернистых песков 20-38 Н/м², крупнозернистых песков и гравия 38-60 Н/м², камня и мелкой гальки более 70 Н/м².

Плотность бентонитового раствора, прокачиваемого через систему трубопроводов, не более 1,15 т/м³.

Определив параметры промывающей жидкости для конкретных геологических условий и подбрав состав ее компонентов, рассчитываем потери давления при ее прокачке и тем самым обосновываем параметры насосно-нагнетательной станции.

Для ламинарного течения вязкого тела в трубе используем уравнение Ньютона:

$$E = \mu_{\text{ж}} \frac{du}{dr}, \quad (1)$$

где E – касательное напряжение на грани двух смежных слоев, Па; $\mu_{\text{ж}}$ – динамическая вязкость тела, Па; du/dr – скорость сдвига

одного слоя относительно смежного с ним, расположенного на расстоянии dr , с⁻¹.

Для вязкопластичного тела можно использовать уравнение Бингама-Шведова:

$$E = \eta \frac{du}{dr} + \tau_0, \quad (2)$$

где η – пластическая вязкость, Па·с; τ_0 – предельное динамическое напряжение сдвига, Па.

Проинтегрировав уравнения (1) и (2), получим формулы для расчета потерь давления на гидравлические сопротивления в трубопроводе при ламинарном режиме. Такие зависимости для вязкопластичных жидкостей довольно громоздки и неудобны для практического использования.

Поэтому потери давления на гидравлические сопротивления принято определять по квадратичной зависимости Вейсбаха – Дарси [4]:

$$P_{mp} = \lambda_m \rho_{\text{ж}} \frac{l}{d} \frac{w^2}{2}, \quad (3)$$

где λ_m – коэффициент гидравлических сопротивлений; $\rho_{\text{ж}}$ – плотность жидкости, кг/м³; l – длина трубопровода, м; d – внутренний диаметр трубопровода, м; w – средняя скорость течения жидкости, м/с.

При ламинарном режиме течения ньютоновской жидкости коэффициент гидравлических сопротивлений вычисляется из зависимости

$$\lambda_m = \beta \frac{64}{Rc}, \quad (4)$$

где β – коэффициент, зависящий от формы поперечного сечения трубопровода, $\beta = 1$; Rc – параметр Рейнольдса,

$$Rc = \frac{Wd\rho_{\text{ж}}}{\mu_{\text{ж}}}. \quad (5)$$

При турбулентном режиме течения величину λ_m с достаточной точностью можно найти по имперической зависимости А.Д.Альтшуля:

$$\lambda_m = 0,1 \left(1,46 \frac{\Delta_1}{d} + \frac{100}{Rc} \right)^{0,25}, \quad (6)$$

где Δ_1 – эквивалентная шероховатость стенок трубопровода, м; для стальных цельнокатанных труб $\Delta = (2 - 7)10^{-3}$ см; для труб ПХВ $\Delta = (1 - 5)10^{-4}$ см.

При ламинарном течении ньютоновской жидкости в кольцевом пространстве между двумя соосно расположеными круглыми цилиндрами потери давления можно определить по формуле (3), а коэффициент сопротивлений – по формуле (4), если принять

$$Re_k = \frac{w_k(Dc - D)\rho_{ж}}{\mu_{ж}}; \quad (7)$$

$$\beta = \frac{(1 - Kr)^2}{1 + Kr^2 + 1 - Kr^2 / \ln Kr}; \quad (8)$$

$$Kr = \frac{D}{Dc} \quad (9)$$

и вместо d подставить разность между наружным (Dc) и внутренними (D) диаметрами кольцевого пространства.

Для расчета коэффициента гидравлического сопротивления воспользуемся зависимостью (4), вместо β подставим β_0 :

$$\beta_0 = \beta(1 + \frac{1}{6}Sen), \quad (10)$$

где Sen – параметр Сен – Венана – Ильмина,

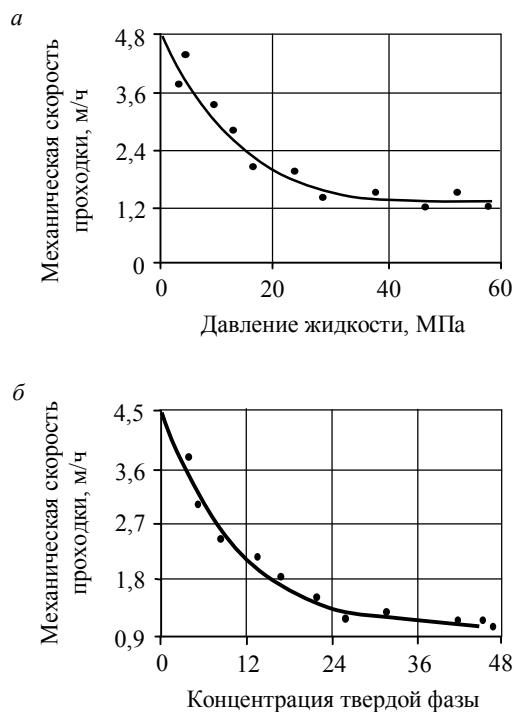
$$Sen = \frac{\tau_0 d}{\eta w}. \quad (11)$$

При турбулентном режиме течения коэффициент сопротивления находим по формуле (6), а критическую скорость течения из зависимости

$$n_k = 25 \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho_{ж}}}.$$

Определив потери давления для конкретных условий, подбираем параметры насосно-нагнетательной станции для реализации УГНБ.

При промывке бурящейся скважины важно не только определить потери давления и мощность насосно-нагнетательной станции, но и зависимости влияния кон-



Зависимость влияния механической скорости бурения (а) от давления, жидкости и концентрации твердой фазы (б)

центрации твердой фазы в промывочной жидкости и давление на механическую скорость проходки. На базе анализа промышленных данных получены эти зависимости (см. рисунок).

Анализ графиков показывает, что наиболее оптимальными параметрами промывочной жидкости с точки зрения механической скорости проходки являются: давление в пределах 8-12 МПа и концентрация твердой фазы 4-8 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. Володин Ю.И. Основы бурения. М.: Недра, 1978.

2. Руководство по применению микротоннелепроходческих комплексов и технологий микротоннелирования при строительстве подземных сооружений и прокладке коммуникаций закрытым способом. М.: Изд-во Правительства Москва, 2004.

3. Руководство по проходке горизонтальных скважин при бесструйной прокладке инженерных коммуникаций. М.: Стройиздат, 1982.

4. Середа Н.Г. Бурение нефтяных и газовых скважин / Н.Г.Середа, Е.М.Соловьев. М.: Недра, 1974.

Научный руководитель д.т.н. проф. И.Е.Долгий