

УПРУГИЕ ПОТЕРИ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОКЛАДКИ ТРУБ-КОЖУХОВ ПНЕВМОПРОБОЙНИКАМИ

И.М. Громов, Л.Б. Белоногов, Л.В. Янковский

Пермский государственный технический университет

Проанализированы затраты энергии на упругие деформации грунта и материала трубы при забивании труб-кожухов пневмопробойниками. Приведены аналитические зависимости для определения упругих потерь. Даны рекомендации по повышению эффективности использования пневмопробойников.

Известно, что эффективность использования пневмопробойников при забивании в грунт труб-кожухов зависит от целого ряда причин. К таковым относятся тип и плотность грунта, метод проходки, геометрические параметры трубы, применяемый пневмопробойник и т.д. [1].

Рассмотрим, что же происходит при забивании трубы-кожуха с точки зрения распределения энергии. Труба-кожух является инструментом проходки. В задней части к ней прикреплен пневмопробойник. Удары, наносимые по задней части инструмента, передаются по трубе кожуху до забойной части. В забойной части производится полезная работа – происходит деформация грунта забоя. Также происходит циклическое перемещение трубы в направлении проходки, а керна, при его наличии – в обратном направлении.

В процессе проходки забойная часть трубы-кожуха совершает циклические движения в осевом направлении. Характерный график движения забойной части показан на рис. 1 [2].

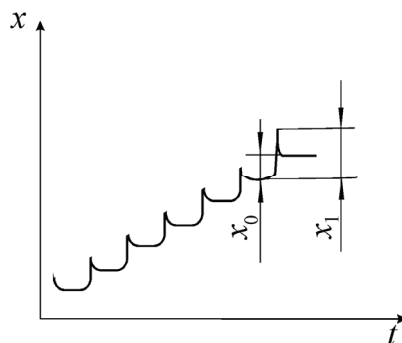


Рис. 1. График движения забойной части трубы-кожуха

Как видно из графика, процесс взаимодействия забойной части трубы с грунтом можно условно разделить на три характерных этапа. Под действием ударного импульса инструмент продвигается вперед на величину X_1 , (первый этап). Затем под действием упругих сил труба отбрасывается в обратном направлении на величину $X_1 - X_0$ (второй этап). В дальнейшем труба остается неподвижной до очередного удара (третий этап).

На первом этапе забойная часть трубы деформирует грунт как штамп. Сначала происходит упругая деформация грунта забоя, а затем и пластическая с продвижением вперед трубы-кожуха. Энергия, обеспечившая пластическую деформацию грунта забоя и перемещение инструмента, затрачивается на выполнение полезной работы. Энергия же, затраченная на упругое сжатие грунта забоя, полезной работы не совершает. Ее величина E_{y3} определяется по формуле

$$E_{y3} = 0,5F_y \cdot X_y, \quad (1)$$

где $X_y = X_1 - X_0$ – величина упругой отдачи на втором этапе; $F_y = \sigma_y \cdot S_3$ – сила, предел упругости грунта; σ_y – предел упругости грунта, S_3 – площадь забойной части трубы-кожуха.

Окончательно получим

$$E_{y3} = 0,5 \cdot \sigma_y \cdot S_3 \cdot X_y. \quad (2)$$

Все вышесказанное относится к забойной части трубы. Однако ударный импульс от пневмопробойника (пневмоударного узла) получает наружная часть трубы. На первом этапе часть энергии затрачивается на упругое сжатие самой трубы-кожуха. Эта энергия также не совершает полезной работы. Упругосжатая на первом этапе труба на втором этапе расслабляется, а энергия упругого сжатия рассеивается. Определим ее величину:

$$E_{yT} = 0,5 \cdot F_{yT} \cdot X_{yT}, \quad (3)$$

где F_{yT} – сила упругого сжатия трубы; X_{yT} – величина упругого сжатия трубы.

Величина упругого сжатия трубы F_{yT} равна усилию, с которым забойный конец трубы проталкивается в грунт, то есть это усилие F_3 по внедрению в грунт штампа с площадью, равной площади забойной части трубы,

$$F_{yT} = F_3 \quad (4)$$

$$F_3 = \sigma_r \cdot S_3, \quad (5)$$

где σ_r – предел прочности грунта.

Величину упругого сжатия трубы X_{yt} можно определить по закону Гука:

$$X_{yt} = \frac{F_{yt} \cdot l}{E \cdot S_T}, \quad (6)$$

где l – длина трубы; E – модуль упругости материала трубы; S_T – площадь поперечного сечения трубы-кожуха.

Таким образом, зависимость (3) примет следующий вид:

$$E_{yt} = 0,5\sigma_r \cdot S_3 \frac{F_{yt} \cdot l}{E \cdot S_T}, \quad (7)$$

или

$$E_{yt} = 0,5(\sigma_r \cdot S_3)^2 \frac{l}{E \cdot S_T}. \quad (8)$$

Проанализируем полученные зависимости. Из формул (2) и (8) видно, что как энергия упругих деформаций грунта забоя, так и энергия упругих деформаций трубы-кожуха зависит от площади забойной части трубы. Причем для упругих деформаций трубы-кожуха эта зависимость – квадратичная.

Площадь забойной части трубы, при прочих равных, зависит от метода проходки – проходка закрытым торцом или проходка открытым торцом с последующим удалением керна.

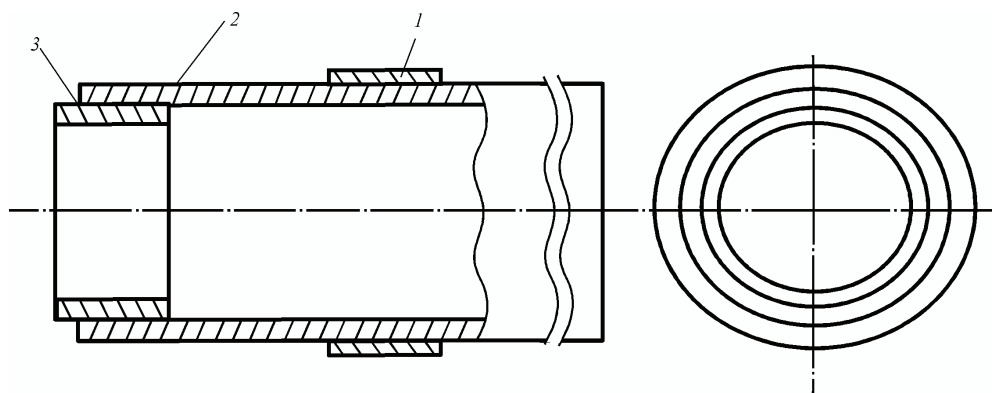


Рис. 2. Схема забойной части трубы

Каково же соотношение площадей забойной части трубы при этих методах? Для проходки открытым торцом рассмотрим классическое оформление забойной части трубы (рис. 2). Площадь состоит из торцевой поверхности собственно трубы 2 (см. рис. 2), наружного ножа

l и площади торцевой поверхности внутреннего ножа 3. Соотношение площадей при проходке закрытым и открытым торцом выразится как

$$\frac{S_{зт}}{S_{зот}} = \frac{D}{12\delta} \quad (9)$$

где $S_{зт}$ – площадь забойной части трубы-кожуха с закрытым торцом; $S_{зот}$ – площадь забойной части трубы-кожуха с открытым торцом; D – диаметр трубы-кожуха; δ – толщина стенки трубы-кожуха.

Увеличение потерь на упругие деформации для трубы диаметром 273 мм с толщиной стенки 8 мм при проходке закрытым торцом сравним с проходкой открытым торцом. Это увеличение по потерям на упругую деформацию грунта в забое будет примерно 3-кратным, а по потерям на упругую деформацию трубы-кожуха уже 9-кратным!

А как зависят упругие потери от длины проходки? Из формулы (2) видно, что упругие потери в грунте забоя от длины проходки не зависят, а зависят лишь от свойств грунта в районе забоя. Иная картина с упругими потерями в трубе-кожухе.

Из формулы (8) видно, что если в начале проходки эти потери незначительны, то с ростом значения длины колонны l потери на упругость возрастают настолько, что это, собственно, и определяет возможную длину проходки. Также из этой формулы следует важное значение продольной жесткости трубы-кожуха.

Жесткость определяется произведением $E \cdot S_T$. И если диапазон изменения значения модуля упругости для стали невелик, то выбирать значение S_T возможно. Если спросить у проходчика-практика, какую бы трубу он предпочел для забивания пневмопробойником, то первой в рейтинге оказалась бы толстостенная бесшовная буровая труба. Последними бы были прямошовные трубы со стенкой 6 мм. Полностью непригодными для этих целей были бы признаны тонкостенные сварные спиралешовные трубы. Анализ формулы (8) полностью подтверждает эти выводы.

Как было сказано выше, энергия, затраченная на упругое сжатие, на втором этапе просто рассеивается. Силы упругости на втором этапе расслабляются. А можно ли, хотя бы частично, не терять эту энергию? Можно. Для этого нужно статически поджать трубу-кожух. К наружному концу трубы-кожуха необходимо приложить статическую нагрузку в направлении проходки. Чем ближе величина усилия статического поджатия $F_{ст}$ будет к величине силы $F_{ут}$, тем меньше энергии будет затрачиваться на упругие потери. При равенстве этих сил $F_{ст} = F_{ут}$ упру-

гих потерь практически не будет. На практике это можно осуществить, подтягивая наружный конец трубы к забою с помощью, например, полиспада.

Рекомендации по уменьшению упругих потерь при забивании труб-кожухов пневмопробойниками:

1. Проходку открытым торцом выбирать как более предпочтительную с точки зрения уменьшения энергозатрат.

2. При выборе труб для проходки отдавать предпочтение более жесткой и толстостенной трубе.

3. Полностью исключить использование спиралешовных труб. Не допускать использование в одной колонне труб с различной жесткостью.

4. При тяжелых условиях и значительной длине проходки для увеличения эффективности необходимо статически поджимать трубу-кожух.

Список литературы

1. Громов И.М., Никитин И.Н. Актуальные вопросы бестраншейной прокладки труб-кожухов пневмопробойниками // Актуальные проблемы автомобильного, железнодорожного, трубопроводного транспорта в Уральском регионе: матер. междунар. науч.-техн. конф. / Перм. гос. техн. ун-т. – Пермь, 2005.

2. Тупицын К.К. О процессе взаимодействия пневмопробойника с грунтом // ФТПРПИ. – 1980. – №4. – С. 78–81.

Получено 19.07.2010