

УДК 69.002.5

Хабибуллина Д.Н., Вахрушев С.И.
Khabibyllina D.N., Vakhrushev S.I.

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Россия

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВИБРАЦИОННОГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ПРОХОДКИ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СКАВАЖИН

DEFINITION OF PARAMETERS OF A VIBRATING TIP FOR FORMATION OF HORIZONTAL CHINKS

Аннотация: Предложены зависимости для определения параметров рабочего наконечника вибрационного инструмента для проходки горизонтальных скважин при бестраншейной прокладке коммуникаций способом вибропрокола. Конструктивные и режимные параметры определены с учётом физико-механических свойств грунта на основе энергетического метода исследования процесса вибропрокола горизонтальных грунтовых скважин.

Annotation: Dependences for definition of parameters of a vibrating working tip for formation of horizontal chinks at no-dig are offered a lining of communications by way of a vybropuncture. Constructive and regime parameters are defined with the account of physic mechanical properties of a ground on the basis of a power method of research of process of a vybwpuncture ofb horizontal soil chinks.

Ключевые слова: горизонтальная скважина, рабочий наконечник, вибропрокол, бестраншейная прокладка, грунт.

Keywords: Horizontal chink, working tip, vybropuncture, no-dig a lining, ground.

Сегодня строительство и ремонт подземных коммуникаций в российских городах характеризуются широким применением бестраншейных технологий. Это объясняется большой интенсивностью транспортных потоков, высокой плотностью городских застроек, невозможностью рытья траншей по различным причинам.

Одним из основных способов образования скважин без экскавации грунта является статический прокол, который, несмотря на конструктивную и технологическую простоту, имеет существенные недостатки, такие как большие напорные усилия и низкая точность проходки. Одним из путей повышения эффективности процесса проходки горизонтальных скважин при бестраншейной прокладке коммуникаций способом прокола является применение вибрации. Известны способы вибрационного прокола с осевыми, и круговыми колебаниями рабочего наконечника [1].

Установки, реализующие способ вибрационного прокола с осевыми и продольно-вращательными колебаниями, широкого применения не получили.

В настоящее время имеются конструкции установок для вибропрокола с круговыми колебаниями рабочего инструмента в плоскостях, перпендикулярных оси образуемой скважины, что значительно снижает напорное усилие по сравнению со способами вибропрокола с направленными осевыми колебаниями.

Способ вибропрокола горизонтальных грунтовых скважин с круговыми колебаниями представляет собой внедрение в грунт под действием силы конусного рабочего наконечника (см. рис.1.), внутри которого вмонтировано вибрационное устройство круговых колебаний. При внедрении наконечника грунт уплотняется в стенки скважины за счет сжимаемости, которая обусловлена изменением пористости. Вибратор, установленный внутри конусного рабочего наконечника, является интенсификатором процесса образования скважины, так как энергия колебаний, передаваемая в массив грунта, способствует снижению коэффициента внутреннего трения и сцепления, что уменьшает величину критического напряжения для изменения структуры грунта и рабочее усилие.

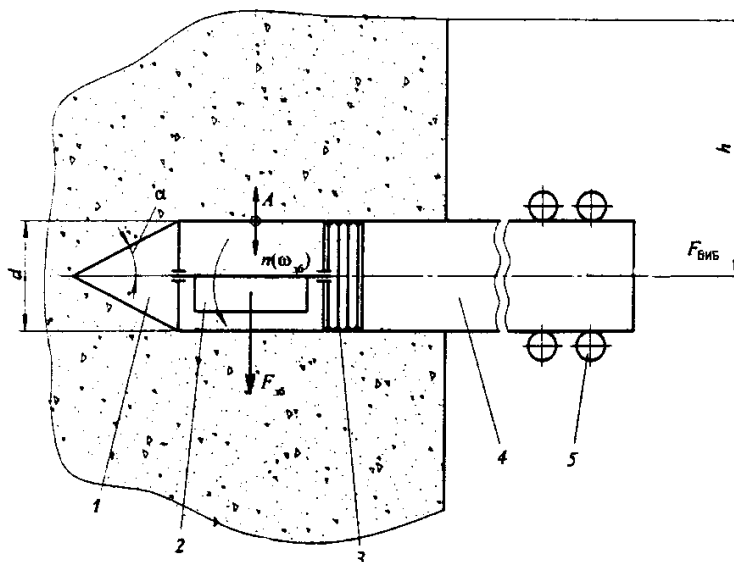


Рис.1. Схема взаимодействия рабочего наконечника с грунтом при вибропроколе горизонтальной скважины: 1 – конусная часть рабочего наконечника; 2 – дебаланс вибратора; 3 – компенсирующее устройство; 4 – напорная труба; 5 – направляющие

В решении задач исследования взаимодействия рабочего наконечника вибрационного инструмента с грунтом с целью определения его параметров наиболее предпочтительным является термодинамический (энергетический) метод, основанный на том, что всякое изменение, происходящее в некоторой системе, рассматривается с точки зрения выделения или поглощения энергии и преобразования одного её вида в другой. В основу исследований процесса вибропрокола была положена идея Рейнольдса о единстве процесса переноса тепловой и механической энергии [2].

На основе результатов проведенных теоретических и экспериментальных исследований процесса вибропрокола с колебаниями рабочего наконечника перпендикулярно оси образуемой скважины получены зависимости для определения основных параметров рабочего наконечника.

Оптимальный угол заострения рабочего наконечника, дающий минимальное сопротивление прокола, определяется из выражения:

$$2\operatorname{tg}\alpha = \sin 2(\alpha + \varphi),$$

где α – угол заострения конусной части вибрационного рабочего наконечника;

$\varphi = \arctg f$ – угол трения грунта о наружную поверхность вибрационного рабочего наконечника (f – коэффициент трения).

Для рекомендуемых значений $f = 0,25 - 0,4$ в глинистых и $f = 0,4 - 0,55$ в песчаных грунтах $2\alpha_{\text{опт}} = 45 - 50^\circ$, что соответствует практическим результатам проколов.

Для нахождения эффективных параметров привода вибратора рабочего наконечника для различных типов грунтов необходимо знать рациональную частоту колебаний для вовлечения в процесс перекладки частиц грунта в нужном объеме, окружающем вибрационный рабочий наконечник. Опираясь на ранее проведенные исследования, за показатель, характеризующий эффективность вибрационного воздействия рабочего наконечника на грунт, было принято ускорение колебаний грунта в рассматриваемом слое h (радиус зоны уплотнения), размеры которого определяются напряжённой зоной при внедрении конусного рабочего наконечника и составляют от 3 до 5 диаметров d основания рабочего наконечника, т.е. $h = (1,5 \dots 2,5) d$.

Исходя из требуемой величины ускорения колебаний создаваемой в рассматриваемом слое грунта, определяется оптимальная частота колебаний вибрационного рабочего наконечника:

$$n = \frac{0,25 \left\{ Aa^2 \left[4 \left(\frac{Aa^2}{J_h} \right)^{3/4} - 2h \left(\frac{Aa^2}{J_h} \right)^{1/2} \right] + J_h h^2 \left(\frac{Aa^2}{J_h} \right)^{5/4} \right\} - 0,13 a^2 A h^3}{Aa \left(\frac{Aa^2}{J_h} \right)^{5/4}},$$

где A – амплитуда колебаний поверхности вибрационного рабочего наконечника, м;

a – параметр, зависящий от физико-механических свойств грунта, $\text{м}^2/\text{с}$, т.е. площадь контакта частиц грунта в единицу времени;

J_h – минимальное ускорение колебаний вибрационного рабочего наконечника на удалении h от оси проходки, при котором происходит интенсивное уплотнение грунта, $\text{м}/\text{с}^2$.

Мощность, необходимая для привода вибрационного устройства рабочего наконечника без учёта потерь в опорах вращающихся элементов, определяется из следующего выражения [3]

$$N_{\text{вн}} = \left[\frac{2}{3} A e^{\left(\frac{\delta h}{e \delta h - 1} - 1 \right)} \right]^2 \omega_{\text{дб}}^3 \left[m_{\text{нак}} + \pi d^3 \left(10 - \frac{1}{24 t g \alpha} \right) \rho_{\text{гр}} \right],$$

где δ – коэффициент затухания колебаний в грунте, 1/м;

$\omega_{\text{дб}}$ – угловая скорость вращения дебаланса вибратора, рад/с,

$\omega_{\text{дб}} = 2\pi n$ (n – количество оборотов, с⁻¹);

$m_{\text{нак}}$ – масса рабочего наконечника, кг;

$\rho_{\text{гр}}$ – плотность грунта, кг/м³.

Коэффициент затухания определяется из выражения, полученного на основе результатов экспериментальных исследований в виде

$$\delta = \sqrt{\frac{n}{a}}$$

В конечном итоге находится усилие для внедрения вибрационного рабочего наконечника, величина которого определяет эффективность процесса образования горизонтальных скважин [4]

$$F_{\text{виб}} = \pi \left(\frac{d}{2} \right)^2 \sigma_r^{\text{виб}} \frac{\operatorname{tg}(\alpha + \varphi)}{\sin \alpha},$$

где $\sigma_r^{\text{виб}}$ – радиальные напряжения в грунте при воздействии энергии колебаний от вибрационного рабочего наконечника, МПа.

Анализ сходимости полученных теоретических данных с экспериментами показал, что при оптимальных параметрах колебаний происходит снижение радиальных напряжений в 10-11 раз по сравнению со статическим проколом. Таким образом, для практических расчётов $\sigma_r^{\text{виб}}$ можно принимать равной 0,15-0,2 и 0,5-0,6 МПа соответственно для глинистых и песчаных грунтов.

Полученные зависимости определяют основные параметры вибрационного рабочего наконечника с учётом влияния физико-механических свойств грунта и могут быть использованы при проектировании оборудования для проходки горизонтальных скважин способом вибропрокола при бестраншейной прокладке коммуникации.

Библиографический список

1. Земсков В. М., Краснолудский И.С., Михельсон Строительные и дорожные машины 9/2010. 33 с.
2. Кершенбаум Н.Я., Минаев В. И. Виброметод в проходке горизонтальных скважин. М.: Недра, 1968. 152 с.
3. Сковорцов И.Д. Создание и обоснование параметров установки с вращательными колебаниями рабочего органа для бестраншейной прокладки труб: дис. ... канд. техн. наук. Омск, 1982 186 с.
4. Ромакин Н.Е., Краснолудский Н.В., Малкова Н.В. Направления в развитии конструкций

оборудования для бестраншейной прокладки трубопроводов способом вибропрокола / Совершенствование конструкций и методов расчёта строительных и дорожных машин и технологий производства работ: межвуз. науч. сб. Саратов: СГТУ, 2006 С. 61-69.

Bibliography

1. Zemskov V. M. Krasnoludskiy I. S. Mihelson Stroitelnae i dorognae mashiny 9/2010. 33 s.
2. Kershenbaym N. Y. Minaev V. I. Vibrometod v prohodke gorizontalnah skvagin M : Nedra, 1968. 152s.
3. Skvorzov I. D. Sozдание I obosnovaniya dlya bestranshenoy prokladke truboprovodov sposobom vibroprokola/ Sovershenstvovaniye konstrukziy I metodov rasheta Stroitelnae i dorognae mashiny I tehnologiy proizvodstva rabot : megbyz. Naych. Sb. Saratov : SGTU, 2006
4. Romakin N. E., Malkova N. V. Usiliye vnedreniye I optimalnay ugol zaostreniya rabochego nakonechnika pri staticheskom prokole grunta// stroitelny I dorogney mashin. 2006. № 10. S. 61-69