

УДК 624.132.3

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОЦЕССОВ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ЗАВИНЧИВАНИЯ ВИНТОВОГО ПРОКАЛЫВАЮЩЕГО РАБОЧЕГО ОРГАНА В ГРУНТ

С.М. Вивчар, асп.,
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

Аннотация. Приведены сведения по завинчиванию винтовых якорей и рабочих органов горизонтальным способом в массив грунта. Материал содержит результаты экспериментальных и теоретических исследований горизонтального завинчивания винтовых рабочих органов установкой с гидравлическим приводом.

Ключевые слова: винтовой рабочий орган, прокол грунта, горизонтальное завинчивание, массив грунта, крутящий момент, тянущее усилие.

ЗАКОНОМІРНОСТІ ПРОЦЕСІВ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ЗАГВИНЧУВАННЯ ГВИНТОВОГО ПРОКОЛЮЮЧОГО РОБОЧОГО ОРГАНА У ҐРУНТ

С.М. Вівчар, асп.,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. Наведено відомості із загвинчування гвинтових якорів і робочих органів горизонтальним способом у масив ґрунту. Матеріал містить результати експериментальних і теоретичних досліджень горизонтального загвинчування гвинтових робочих органів установкою з гідравлічним приводом.

Ключові слова: гвинтовий робочий орган, прокол ґрунту, горизонтальне загвинчування, масив ґрунту, крутний момент, тягне зусилля.

REGULARITIES OF PROCESSES OF HORIZONTAL SCREWING OF SCREW SOIL THRUST WORKING BODY INTO THE SOIL

S. Vivchar, P.G., Kharkiv National Automobile and Highway University

Abstract. Information on the screwing of screw anchors and working bodies in a horizontal in the soil mass is given. The material contains the results of experimental and theoretical studies of horizontal screwing of helical working elements using a hydraulic drive unit.

Key words: screw working body, ground puncture, horizontal screwing, soil mass, torque, pulling force.

Введение

Технология горизонтального прокола грунта в настоящее время набирает все большую популярность во всем мире. Данный способ разработки грунта позволяет производить бестраншейную прокладку трубопроводов и кабельных сетей. Конструкция винтового якоря является универсальной и активно применяется в различных связанных со стро-

ительством отраслях. Наиболее часто элементы винтовых якорей применяются в таких изделиях, как якорные винтовые опоры строительных и подъемно-транспортных машин, опоры развлекательных аттракционов и мобильных технологических комплексов. Авторами изучен еще один способ применения винтовых якорей – в процессах горизонтального прокола грунта.

Анализ публикаций

Процессы погружения винтовых якорей без усилия пригруза и основные закономерности описаны в работах [1–3], а сведения о технологии горизонтального прокола грунта имеются в публикации [4]. Информация об установке горизонтального прокола грунта винтовым тянущим рабочим органом имеется в патенте [5, 6].

Цель и постановка задачи

Целью данной работы является анализ закономерностей процессов завинчивания винтовых рабочих органов в массив грунта в горизонтальном направлении, а также уточнение их закономерностей экспериментальным путем.

Особенности процессов завинчивания винтовых рабочих органов

Процесс прокола грунта винтовым прокалывающим рабочим органом (ВПРО) имеет специфические особенности, связанные с циклическим процессом прокола для последующего размещения в ней трубопровода или кабеля. Необходимо выяснить рациональные параметры ВПРО, обеспечивающие минимальные затраты на прокол грунта и выбор мощности установки для его завинчивания. В отличие от процессов завинчивания вертикальных и наклонных винтовых свай и анкеров, в установке прокола грунта ВПРО чаще всего перемещается горизонтально (рис. 1) Сила тяжести ВПРО (наконечники, штанги и т.п.) направлена перпендикулярно траектории его движения и может несколько увеличивать давление грунта на нижнюю опорную поверхность штанг.

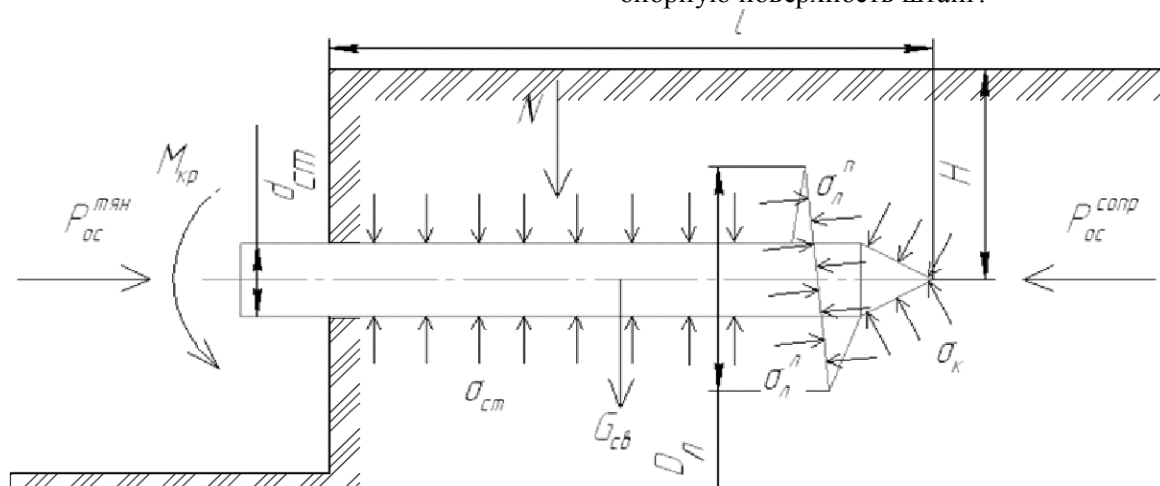


Рис. 1. Схема сил, действующих на винтовой прокалывающий рабочий орган

В работе [2] детально рассматривается влияние конструкции механизма погружения винтовых свай на силовые параметры процесса их завинчивания.

Необходимо принять во внимание, что для начального внедрения в массив грунта ВПРО к нему понадобится приложить некоторое осевое усилие. Дальнейшее перемещение ВПРО происходит без какой-либо осевой силы задавливания. Преодоление осевых сил сопротивления грунта перемещению ВПРО происходит только за счет преобразования некоторой части активного крутящего момента в винтовой паре «лопасть–грунт» в определенную активную осевую силу.

Условием продвижения ВПРО в грунте является

$$M_a > \sum M_c. \quad (1)$$

В общем случае активный момент, который может быть создан приводной установкой завинчивания ВПРО, можно записать как

$$M_a = \frac{N_{дв}}{\omega}, \quad (2)$$

где ω – угловая частота вращения ВПРО, $\omega = \frac{\pi \cdot n}{30}$; $N_{дв}$ – мощность привода; n – обороты ВПРО.

Для того, чтобы не происходило разбуривание грунта, обороты ВПРО должны быть не более 30 об/мин, согласно [2].

Суммарный момент сопротивления вращательно-поступательному движению ВПРО можно представить следующим образом

$$\sum M_c = M_c^{\text{ш}} + M_c^{\text{к}} + M_c^{\text{пл}} + M_c^{\text{зп}} + M_c^{\text{р}}, \quad (3)$$

где $M_c^{\text{ш}}, M_c^{\text{к}}, M_c^{\text{пл}}, M_c^{\text{зп}}, M_c^{\text{р}}$ – соответственно момент сопротивления на боковых поверхностях штанг, конусном наконечнике, передней поверхности винтовой лопасти, задней поверхности винтовой лопасти и на режущей кромке лопасти.

Моменты сил сопротивления на конусном наконечнике и режущей кромке винтовой лопасти не зависят от направления завинчивания ВПРО и могут быть определены по расчётным зависимостям винтовых свай [2].

Момент сопротивления сил трения на штангах рабочего органа ВПРО можно представить как

$$M_c^{\text{ш}} = \int_0^{l_{\text{ш}}} \sigma_6 \cdot \pi \cdot d_{\text{ш}}^2 \sin \alpha_{\text{ш}} \cdot dl_{\text{ш}}, \quad (4)$$

где σ_6 – боковое давление грунта на штангу с учетом сил тяжести грунта; $d_{\text{ш}}$ – диаметр штанги; $l_{\text{ш}}$ – длина штанги, погруженной в массив грунта; $\alpha_{\text{ш}}$ – фактический угол наклона винтовой линии на поверхности ствола штанги.

Угол наклона винтовой линии по стволу можно выразить через шаг винтовой лопасти, который устанавливается по ее торцам. При постоянном шаге винтовой лопасти угол наклона винтовой линии на поверхности штанги равен

$$\alpha_{\text{ш}} = \arctg \frac{a_{\text{л}}}{\pi \cdot d_{\text{ш}}}. \quad (5)$$

В процессе завинчивания ВПРО происходит преодоление осевых сил сопротивления за счет преобразования некоторой части активного момента в активную осевую силу в винтовой паре «лопасть–грунт».

При вращении ВПРО происходит взаимодействие широколопастной лопасти с грунтом и создается винтовая пара «лопасть–грунт», в которой происходит трансформирование некоторой части активного момента в осевую силу. Без принудительной осевой подачи осевые силы сопротивления поступательному движению ВПРО преодолеваются только за счет силовых взаимодействий в паре «лопасть–грунт».

Для некоторого осевого усилия сопротивления $Q_{\text{ос}}^c$ можно установить значения требуемого активного момента $M_{\text{ос}}^c$. Силовые соотношения в винтовой паре связаны следующим образом [2]

$$Q_{\text{ос}}^c = \frac{R_{\text{ос}}^c}{\text{tg}(\alpha^* + \rho)}, \quad (6)$$

где $Q_{\text{ос}}^c$ и $R_{\text{ос}}^c$ – соответственно осевая и радиальная сила в винтовой паре «лопасть–грунт»; α^* – расчетный угол наклона винтовой пары «лопасть–грунт»; ρ – угол трения лопасти о грунт.

В связи с тем, что в винтовой паре «лопасть–грунт» последний имеет значительную податливость, то за счет воздействия на грунт при вращении ВПРО задней поверхностью лопасти грунт уплотняется и фактический шаг движения не равен шагу винтовой лопасти. Этот факт отмечается в работах Пенчука В.А. [2] и предлагается при расчете вводить коэффициент пробуксовки лопасти, равный

$$k_{\text{п}} = \frac{a_{\text{ф}}}{a_{\text{л}}}, \quad (7)$$

где $a_{\text{ф}}$ – фактический шаг винтовой нарезки в грунте.

При изменении шага винтовой нарезки в грунте изменяется и фактический угол наклона винтовой линии, по среднему диаметру лопасти $0,66 \cdot D_{\text{л}}$, который можно представить как

$$\alpha^* = \arctg \frac{a_{\text{л}} \cdot k_{\text{п}}}{0,66 \cdot \pi \cdot D_{\text{л}}}. \quad (8)$$

При общеизвестных силовых соотношениях в винтовых парах (5) требуемый активный момент можно представить как

$$M_{зл}^c = Q_{oc}^c \cdot \operatorname{tg}(\alpha^* + \rho) \cdot 0,66 \cdot D_{л}. \quad (8)$$

Для уточнения закономерностей силовых соотношений процессов прокола грунта ВПРО была разработана специальная методика, в которой предусматривалось не моделировать, а исследовать реальные процессы прокола грунта ВПРО.

Экспериментальный стенд состоял из следующих основных элементов: привода, траверсы для привода с боковыми регулирующими роликами для опирания на опорную раму. Ход траверсы позволял завинчивание и вывинчивание ВПРО для установки новых штанг. Стенд представлен на рис. 2.

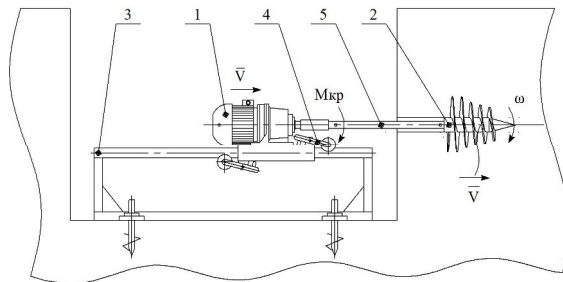


Рис. 2. Экспериментальный стенд

Для замера крутящего завинчивания ВПРО был разработан специальный силоизмерительный узел. Принципиальная схема измерительного узла показана на рис. 3, а на рис. 4 представлена фотография силоизмерительного узла.

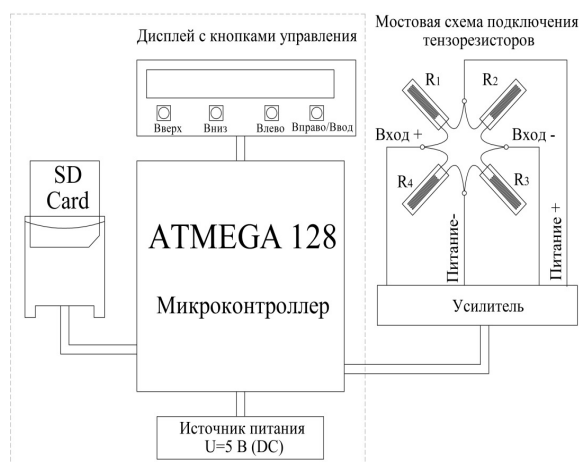


Рис. 3. Принципиальная схема измерительного узла



Рис. 4. Измерительный узел

На полигоне НПП «Газтехника» были открыты два котлована глубиной 2 м, шириной 2,5 и длиной 10 м на 12 м расстоянии друг от друга. Проведение двухфакторного эксперимента (первый фактор – диаметр винтовой лопасти, второй фактор – шаг винтовой лопасти) осуществлялось в грунтах 2-й категории (число ударников ДорНИИ С = 5–7).

На рис. 5 представлены сопоставительные результаты теоретических и экспериментальных исследований. Представленные данные показывают, что созданные математические модели адекватно отражают реальные процессы прокола грунта ВПРО.

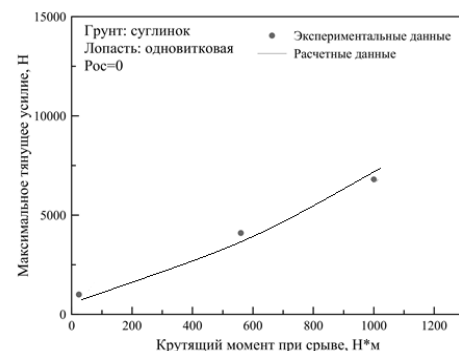
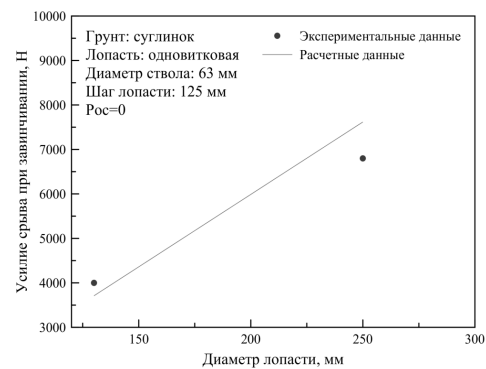


Рис. 5. Результаты теоретических и экспериментальных исследований

Выводы

Результаты замеров максимального тянущего усилия в винтовой паре «лопасть–грунт» позволяют утверждать следующее:

– при вращении ВПРО происходит преобразование его движения не только во вращательно-поступательное, но и создаётся дополнительное тянущее усилие, которое позволяет расширить первоначальную скважину;

– возможности винтовой пары «лопасть–грунт» зависят от ее параметров и имеют предельное значение.

Литература

1. Железков В.Н. Винтовые сваи в энергетической и других отраслях строительства / В.Н. Железков. – С.Пб.: Прагма, 2004. – 128 с.
2. Пенчук В.А. Винтовые сваи и анкера для опор: монография / В.А. Пенчук. – Донецк: Ноулидж, 2010. – 180 с.
3. Ромакин Н.Е. Сопротивление завинчиванию винтовой сваи в грунт / Н.Е. Ромакин, С.В. Лебедев // Строительные и дорожные машины. – 2011. – №9. – С. 37–42.
4. Вивчар С.М. Технология и оборудование для прокола грунта с использованием тянущей силы пары «винтовая лопасть–грунт» / С.М. Вивчар // Вестник ХНАДУ: сб. науч. тр. – 2016. – Вып. 73. С. 196–201.
5. Пат. 111733 Україна, МПК E21B 10/22. Установка з гвинтовим ґрунтопроколюючим робочим органом для безтраншейної прокладки підземних комунікацій / Пенчук В.О., Сідак В.С., Супонев В.М., Олексин В.І., Щукін О.В., Вівчар С.М.; заявник і патентовласник Харківський нац. автомоб.-дорожній ун-т. – № u201604141; заявл. 15.04.2016; опубл. 25.11.2016, Бюл. №22.
6. Пат. 109838 Україна, МПК E21B 10/44. Пристрій для безтраншейної прокладки інженерних комунікацій / Пенчук В.О., Супонев В.М., Олексин В.І., Щукін О.В., Вівчар С.М.; заявник і патентовласник Харківський нац. автомоб.-дорожній ун-т. – № u201602392; заявл. 12.03.2016; опубл. 12.09.2016, Бюл. №17.

Рецензент: Е.С. Венцель, профессор, д.т.н., ХНАДУ.
