

УДК 624.132.3

ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССОВ СТАТИЧЕСКОГО ПРОКОЛА ГРУНТА

С.П. Балесный, асп.,

Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

Аннотация. В процессе прокола грунта прокалывающая головка на своем пути довольно часто встречается с различного рода препятствиями, что вызывает ее отклонение от заданной траектории движения. Представлены математические модели, которые позволяют определить величину отклонения прокалывающей головки в зависимости от длины участка и угла отклонения любой из штанг.

Ключевые слова: математическая модель, бестраншейные технологии, коммуникации, горизонтальная скважина, прокалывающая головка, установка.

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЦЕСІВ СТАТИЧНОГО ПРОКОЛУ ҐРУНТУ

С.П. Балесний, асп.,

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. У процесі проколу ґрунту прокольна головка на своєму шляху, у більшості випадків, зустрічається з різного роду переешкодами, що викликає її відхилення від заданої траєкторії руху. Наведено математичні моделі, які дозволяють визначити величину відхилення провольної головки залежно від довжини ділянки і кута відхилення будь-якої зі штанг.

Ключові слова: математична модель, бестраншейні технології, комунікації, горизонтальна свердловина, провольна головка, установка.

FEATURES OF SOIL THRUST BORING PROCESS

S. Balyesnyi, P.G.,

Kharkiv National Automobile and Highway University

Abstract. In the process of puncturing the ground piercing head on its way quite often encounters different kinds of obstacles inherent in the soil array that results in its binding, and deviation from the desired trajectory. The article presents the arithmetic models that allow to determine the deviation of the piercing head, depending on the length and the angle of deviation of any of the bars.

Key words: arithmetic model, trenchless technologies, communication, horizontal well, soil thrust boring head, soil thrust boring plant.

Введение

Прокладка горизонтальных скважин в грунте способом прокола привлекает к себе все большее внимание. При использовании указанного способа весьма остро встает вопрос о траектории движения рабочего органа, о возможностях ее оперативной корректировки. Решение указанных процессов было и будет всегда оставаться актуальным.

Анализ публикаций

Основы теории прокола с учетом местоположения в грунте головки рабочего органа при проколе изложены в работах [1; 2]. Влияние формы головки прокалывающего рабочего органа на процесс прокола грунта было исследовано в работе [3]. Современные требования к параметрам горизонтальных скважин и анализ бестраншейных методов даны в

работе [4]. Некоторые аспекты применения управляемого прокола грунта рассмотрены в исследованиях [5, 6].

Цель и постановка задачи

Целью работы является установление закономерностей траектории прокола скважин в грунте с учетом расстояния встречи рабочего органа с препятствием.

Особенности процессов статического прокола грунта

Процесс статического прокола грунта происходит при непрерывном формировании скважины путем радиального его уплотнения. Главный недостаток традиционного метода прокола грунта конусными рабочими органами – это неуправляемая траектория движения. Наглядным примером сказанного являются результаты исследований [3], в которых показано, как влияют на изменение траектории скважины конструктивные параметры головки и угол встречи ее с препятствием (рис. 1).

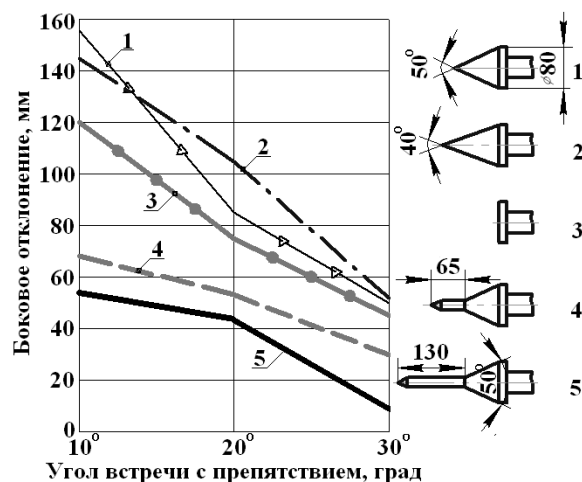


Рис. 1. График зависимости величины боковых отклонений грунтопрокалывающего снаряда с головками разной формы от углов встречи с препятствием

Как видно из представленных данных, наименьшее отклонение от заданной траектории имеет грунтозахватывающая конусная головка с выступающей иглой.

В работах [5, 6] показано, что для управляемого прокола необходим рабочий орган не с конусной головкой, а с головкой, которая имеет скошенную плоскость. За счет усилий

скошенной поверхности можно положение головки оперативно корректировать, т.е. проводить управляемый прокол. Конструкция оборудования для управляемого прокола запатентована авторами [7].

Если перемещение рабочего органа со скошенной поверхности производить за счет только поступательного движения, то в любом случае будут наблюдаться отклонения от горизонтальной траектории, даже без встречи с препятствием.

Рассмотрим наиболее типовую технологию прокола грунта за счет силовой установки, рабочей головки и набора наращиваемых штанг.

В общем случае будем полагать, что в конечном пункте прокалывающий рабочий орган состоит из головки, связанной с n количеством штанг.

Для упрощения первоначально рассмотрим, что искривление траектории движения рабочего органа происходит в некоторой плоскости, ориентированной в пространстве под некоторым углом α .

Если считать, что штанги имеют одинаковую длину и они абсолютно жесткие, а нарушение жесткости всей системы возможно только в узлах стыковки штанг, то координаты точек соединения прокалывающих штанг можно представить следующей схемой (рис. 2).

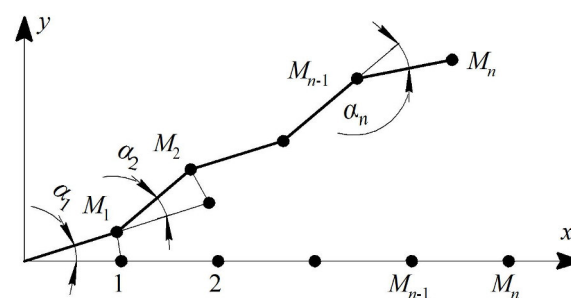


Рис. 2. Схема траектории прокалывающего рабочего органа, где n – количество штанг, α – угол отклонения штанг

Координаты точек соединения штанг прокалывающего рабочего органа в плоскости можно представить в виде

$$M_i(x_i; y_i) \quad i=0; 1, 2, \dots, n, \quad (1)$$

при $i = 0; M_0(0; 0); i = 1; M_1(l \cos \alpha_1; l \sin \alpha_1);$
 $i = k; M_k(x_{k-1} + l \cos \beta_k; y_{k-1} + l \sin \beta_k);$
 $k = 1; 2, \dots, n; \beta_k = \alpha_k + \beta_{k-1}; \beta_0 = 0.$

При известных координатах $M_i(x_i; y_i)$ с помощью метода наименьших квадратов можно установить характер траектории движения рабочего органа.

После отклонения движение головки может происходить по прямой линии или по криволинейной, например, по параболе.

Необходимо отметить, что теоретические отклонения от заданной траектории возможны в любом из узлов соединения штанг (рис. 3).

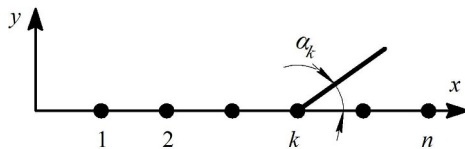


Рис. 3. Схема отклонения траектории в некоторой точке k

Отклонение движения головки в направлении, нормальном к траектории, по схеме рис. 3 можно описать как

$$\begin{cases} y = 0; & \text{для } 0 \leq x \leq k \\ y = \sin \alpha_k (k - x); & \text{для } k < x \leq n. \end{cases} \quad (2)$$

Если траектория движения изменяется несколько раз в одной плоскости (рис. 4), то её схема отклонения будет иметь вид, представленный на рис. 4.

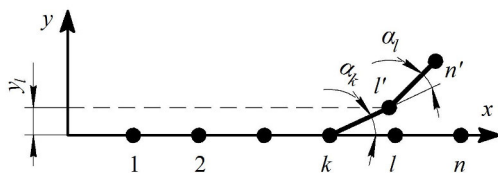


Рис. 4. Схема траектории движения головки при 2 точках изменения траектории

Для схемы на рис. 3 с учетом зависимости (1) можно записать

$$\begin{cases} y = 0; & \text{для } 0 \leq x \leq m \\ y = \sin \alpha_k (x - k); & \text{для } k < x \leq l; \\ y = \sin(\alpha_k + \alpha_l) + \sin \alpha_k (l - k). \end{cases} \quad (3)$$

Для случая траектории движения рабочего органа после отклонения от заданной трассы по прямой можно записать систему уравнений для определения коэффициентов прямой a и b .

$$\begin{cases} ak_{x^2} + bk_x = k_{xy} \\ ak_x + (n+1)b = k_y, \end{cases} \quad (4)$$

где $k_x = \sum_{i=0}^n x_i$; $k_{x^2} = \sum_{i=0}^n x_i^2$; $k_y = \sum_{i=0}^n y_i$;

$$k_{xy} = \sum_{i=0}^n x_i y_i.$$

Значения a и b определяются из решения системы уравнений (4).

Если траектория движения рабочей головки после отклонения от заданной трассы имеет последующие отклонения, то ломанную кривую для практических расчетов можно заменить параболой.

Для установления зависимости для параболы введем новые обозначения

$$k_{x^3} = \sum_{i=0}^n x_i^3; k_{x^4} = \sum_{i=0}^n x_i^4; k_{x^2 y} = \sum_{i=0}^n x_i^2 y_i. \quad (5)$$

Тогда уравнение для определения коэффициентов параболы можно представить как

$$\begin{cases} ak_{x^4} + bk_{x^3} + ck_{x^2} = k_{x^2 y}; \\ ak_{x^3} + bk_{x^2} + ck_x = k_{xy}; \\ ak_{x^2} + bk_x + (n+1)c = k_y. \end{cases} \quad (6)$$

Решение системы уравнений (6) при условии, что длина одной штанги $l = 1$ м; $\alpha_i = \alpha = 1^\circ$, приведет к уравнению параболы

$$Y = \frac{0,17}{250} x^2 + \frac{2,32}{100} x \quad (7)$$

Зависимость (7) позволяет, с учетом принятых допущений, определить отклонение траектории движения при любых длинах прокола скважины.

Численный анализ траектории движения рабочего органа проводился при следующем исходном массиве: длина штанги $l_{ш} = 1$ м;

количество штанг $n_{шт} = 20$ шт; максимальное отклонение имеет место при отклонении первой штанги соответственно на угол $\alpha_i = 1^\circ; 2^\circ$ и 3° .

На рис. 5 представлены данные о величинах отклонения головки от заданной траектории с учетом длины скважины.

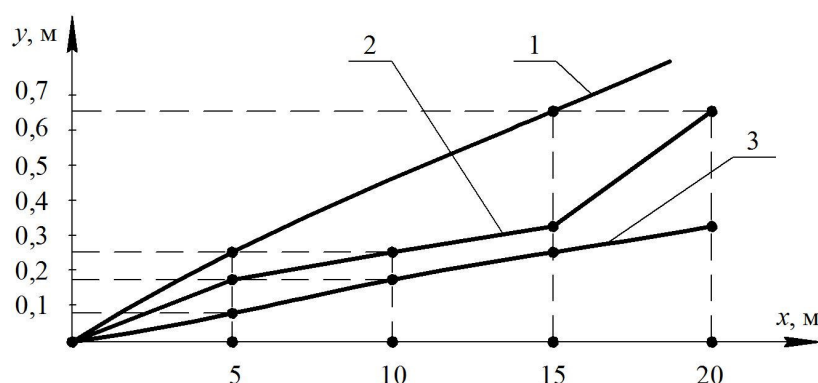


Рис. 5. Зависимости отклонений рабочего органа от горизонтальной трассы: 1 – $\alpha = 3^\circ$; 2 – $\alpha = 2^\circ$; 3 – $\alpha = 1^\circ$

Зависимости на рис. 5 наглядно показывают величины отклонений с учетом длины трассы и углов наклона отдельных звеньев рабочего прокалывающего органа.

Выводы

Предложенные математические модели позволяют устанавливать ориентировочные значения отклонений рабочего органа грунтопрокалывающей машины с учетом длины трассы и угла отклонения любой из штанг.

Вероятность отклонений рабочего органа от заданной трассы весьма высока, поэтому современные установки прокола должны иметь систему оперативной коррекции трассы.

Литература

1. Земсков В.М. Теоретические основы взаимодействия рабочего наконечника с грунтом при проколе горизонтальных скважин / В.М. Земсков. – Саратов: СГТУ, 2010. – 104 с.
2. Бреннер В.А. Экспериментальные исследования взаимодействия исполнительного органа прокалывающей установки с грунтовым массивом / В.А. Бреннер, К.А. Головин, А.Е. Пушкарев и др. // Известия ТулГУ. Сер.: Экология и безопасность жизнедеятельности. – 2006. – Вып. 8. – С. 158–160.

3. Ипатов Н.К. О выборе формы головки грунтопрокалывающего снаряда / Н.К. Ипатов, В.В. Чижов // Известия высших учебных заведений. Серия: Строительство и архитектура. – 1971. – №4. – С. 114–117.
4. Руднев В.К. Машины для бестраншейной прокладки подземных коммуникаций / С.В. Кравец, Н.Д. Каслин, В.К. Руднев, В.Н. Супонев. – Х.: Фавор, 2008. – 256 с.
5. Гусев И.В. Применение управляемого прокола грунта при бестраншейной прокладке труб / И.В. Гусев, Ф.Л. Чубаров // Потенциал современной науки. – 2014. – №2. – С. 30–33.
6. Лукиенко Л.В. Определение необходимого усилия подачи исполнительного органа для установки управляемого прокола / Л.В. Лукиенко, К.А. Головин, А.Е. Пушкарев, М.Н. Каменский // Известия ТулГУ. Сер.: Технические науки. Секция: Машиностроение и машиноведение. – 2010. – Вып. 4. – С. 15–21.
7. Пат. 95501 Україна, МПК E02F 5/18. Установка для керованого проколу ґрунту / Пенчук В.О., Белицький Д.Г., Супонев В.М., Олексин В.І., Балесний С.П.; заявник і патентовласник Харківський нац. автомоб.-дорожній ун-т. – № u201407764; заявл. 10.07.2014; опубл. 25.12.2014. Бюл. № 24.

Рецензент: И.Г. Кириченко, профессор, д.т.н., ХНАДУ.