

УДК 624.132.3

УРАВНЕНИЕ ТРАЕКТОРИИ КОРРЕКЦИИ ДВИЖЕНИЯ ГОЛОВКИ В ГРУНТЕ И ЕГО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА

СУПОНЕВ В.Н.¹, к.т.н., доц.БАЛЕСНЫЙ С.П.², аспирант

¹ Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, ул. Ярослава Мудрого, 25, г. Харьков, Украина, 61002, +38050-301-99-58, E-mail: v-suponev@ukr.net, ORCID: 0000-0001-7404-6691

² Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, ул. Ярослава Мудрого, 25, г. Харьков, Украина, 61002, +38050-343-80-10, E-mail: tbalesna@gmail.com

Аннотация. Статический прокол грунта рабочим органом с конусным наконечником является наиболее эффективным для разработки горизонтальной скважины при бестраншейной прокладке распределительных коммуникаций. Одним из существенных недостатков метода является высокая вероятность отклонения головки от проектной траектории. Причиной этого может быть разная плотность грунта по высоте, каменистые включения, не точное позиционирование рабочего органа в начальной стадии процесса. Этот недостаток существенно сокращает сферу применения метода прокола на коротких дистанциях в пределах 15...20 м. Увеличить эту дистанцию возможно путём оперативной коррекции траектории движения рабочего органа в грунте. В работе раскрывается возможность управления траекторией движения рабочего органа с помощью адаптации формы его наконечника и определяются условия коррекции движения при непрерывности процесса прокола грунта. В случае отклонения движения рабочего органа от заданной траектории, традиционная конусная форма наконечника сменяется на ассиметричную, на которую действует поперечная сила от реакции грунта. С учётом этих обстоятельств можно управлять траекторией движения головки при создании скважины.

В работе предлагается вывод уравнения траектории коррекции движения головки в грунте при его статическом проколе с учётом типа грунта и угла скоса наконечника. Установлено и экспериментально подтверждено, что максимальное отклонение достигается при меньших углах наклона площадки, а наименьшая величина отклонения происходит в глине. Так, при длине дистанции прокола 10 м для угла наклона 25° в супеси головка отклонится на 40 мм, а в глине на 20 мм. В тоже время при угле 55° отклонение головки в тех же условиях составило 14 и 13 мм соответственно. При угле 70° влияние скоса лобовой поверхности наконечника на процесс теряется.

Расхождение между экспериментальными данными и теоретическими значениями не превышает 15%, что можно считать достаточной величиной для практического применения при управлении процессом траектории прокола грунта.

Ключевые слова: бестраншейная технология, статический прокол грунта, инженерные коммуникации, прокалывающий рабочий орган, коррекция траектории движения.

РІВНЯННЯ ТРАЄКТОРІЇ КОРЕКЦІЇ РУХУ ГОЛОВКИ В ГРУНТІ ТА ЙОГО ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА

СУПОНЄВ В.Н.¹, доц., к.т.н.БАЛЕСНИЙ С.П.², аспірант

¹ Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого, 25, м. Харків, Україна, 61002, +38050-301-99-58, E-mail: v-suponev@ukr.net, ORCID: 0000-0001-7404-6691

² Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого, 25, г. Харків, Україна, 61002, +38050-343-80-10, E-mail: tbalesna@gmail.com

Анотація. Статистичний прокол ґрунту робочим органом з конусним наконечником є найбільш ефективним для розробки горизонтальної свердловини при бестраншейного прокладання розподільних комунікацій. Одним з суттєвих недоліків методу є висока вірогідність відхилення головки від проектно траєкторії. Причиною цього може бути різна щільність ґрунту, кам'яності включення та неточне позиювання робочого органу на початкової стадії процесу. Цей недолік суттєво скорочує сферу використання методу проколу в межах 15...20 м. Збільшити цю дистанцію можливе шляхом оперативної корекції траєкторії руху робочого органу ґрунті. В роботі розкривається можливість керування рухом робочого органу за допомогою

адаптації форми його наконечника з конусної на асиметричну. З урахуванням цих обставин можливо управляти траєкторією руху головки при створенні свердловини.

В роботі запропоновано отримання рівняння траєкторії при корекції руху головки в ґрунті при його статичному проколі з урахуванням типу ґрунту та куту скосу наконечника. Встановлено та експериментально підтверджено, що максимальне відхилення досягається при менших кутах нахилу площини, а найменша величина відхилення відбувається в глині.

Так, при довжині дистанції проколу 10 м для куту нахилу 25° в супесі головка відхилиться на 40 мм, а в глині на 20 мм. В той же час при куті 55° відхилення головки в цих же умовах склало 14 і 13 мм відповідно. При куті 70° вплив скосу лобової поверхні наконечника на процес втрачається.

Розходження між експериментальними даними та теоретичними значеннями не перевищує 15%, що можна рахувати не значною величиною, яка не заважатиме їх використання при практичному керуванні траєкторії проколу ґрунту.

Ключові слова: безтраншейна технологія, статичний прокол ґрунту, інженерні комунікації, прокалюючий робочий орган, корекція руху.

TRAJECTORY CORRECTION EQUATION OF MOTION OF THE HEAD IN THE GROUND AND ITS EXPERIMENTAL VALIDATION

SUPONEV V.N. ¹ Ph. D., assistant professor

BALESNY S.P. ² graduate student

¹ Kharkiv National Automobile and Highway University, Yaroslava Mudroho str., 25, Kharkiv, Ukraine, 61002, +38050-301-99-58E-mail: v-suponev@ukr.net,

ORCID: 0000-0001-7404-6691

² Kharkiv National Automobile and Highway University, Yaroslava Mudroho str., 25, Kharkiv, Ukraine, 61002, +38050-343-80-10, E-mail: tbalesna@gmail.com

Abstract. Static puncture the soil working body with conical tip is the most effective for the development of horizontal wells in trenchless laying of distribution of communications. One of the most effective methods for the formation of horizontal wells for trenchless laying of underground utilities is the puncture of the soil with a cone-cylindrical tip. One of the major drawbacks of the method is the high probability of its deviation from the project trajectory. The reason for this may be different soil density in height, stony inclusions, not accurate positioning of the working body in the initial stage of the process. This disadvantage significantly reduces the scope of application of the puncture method at short distances within 15 ... 20 m. It is possible to increase this distance by promptly correcting the trajectory of the working body in the ground. The paper reveals the possibility of controlling the trajectory of the working body movement by adapting the shape of its tip, and determines the conditions for motion correction when the soil puncture process is continuous.

The originality of the solution includes the following. In case of deviation of the working body movement from a given trajectory, the traditional conical shape of the tip is replaced by an asymmetrical one, which is acted upon by the transverse force from the soil reaction. Given these circumstances, you can control the trajectory of the well in the process of its formation.

In the proposed finding equations of the trajectory correction Movement heads in the soil when it is static puncture with taking into account the type of soil and the angle bevel tip. Determined and experimentally confirmed that the maximum deviation is achieved at lower angles and minimum deflection occurs in clay. So, when the length of the distance 10 m for puncture angle 25° in sandy loam head swing at 40 mm, and 20 mm on the clay. At the same time at an angle of 55° deflection head in the same circumstances amounted to 14 and 13 mm, respectively. At an angle of 70° bevel effect to the frontal process is lost.

The discrepancy between the experimental data and theoretical values does not exceed 15%, which can be considered as the basis for practical use in controlling the process of the soil puncture path.

Keywords: trenchless technologies, static soil puncture, engineering communications, puncturing working body, movement path correction.

Актуальность работы. Во время горизонтально-направленного прокола грунта малогабаритными установками статичного действия возникает необходимость корректировать траекторию движения рабочего органа. Отклонения рабочего органа с конусным наконечником могут происходить по разным причинам: не точным расположением установки относительно оси в начале прокола; при встрече рабочего органа с некоторым слоем более плотного грунта; за счет изгиба длинной штанги и др. Поэтому корректировка траектории прокола необходима и поиск эффективных решений актуален.

Цель работы. Целью работы является теоретическое обоснование методологии оперативной коррекции траектории прокола грунта и её экспериментальная проверка, которые позволят выработать требования к конструкциям: прокалывающей головки, аппаратуры за ее расположением в массиве грунта и силовому блоку ее перемещения и корректировки.

Анализ публикаций. Общие закономерности процессов прокола грунта и формирования горизонтально-направленных скважин выложены в работах [1-3]. Результаты исследований влияния конструктивных параметров рабочего органа на процесс прокола грунта и его интенсификацию представлено в работах [4 - 7]. Изменению качества грунта в окружающем пространстве при статическом проколе грунта и его влиянию на процессы формирования лидерной скважины и её расширению были рассмотрены в работах [8, 9].

Основной материал. Известно, что для изменения направления движения при работе машины горизонтально-направленного бурения (ГСБ) во время формирования лидерной скважины с криволинейной траекторией используется буровая головка со скошенной лобовой поверхностью. При статическом задавливании этой головки в грунт возникает поперечная сила от реакции почвы, которая смещает ее движение в противоположную сторону от скоса лобовой поверхности [8-10].

Современные технологии позволяют определить координаты места нахождения головки в почве с достаточно высокой точностью. При управлении бурением скважины машинами ГСБ используют, обычно электромагнитные, лазерные и кабельные методы локации таких известных производителей, как DigiTrax, Spot - d - Nek, PipeHawkGPR и другие. Это достаточно сложные и дорогие устройства. Для корректировки движением прокалывающей головки на относительно небольших глубинах можно использовать отечественную поисковую установку СПРУТ - 5 Днепропетровской фирмы "КРОМ", которая имеет достаточно высокую точность определения ее

местонахождения, которая составляет до 2 см на глубине до 3 м.

Таким образом, если форму наконечника прокалывающей головки будет возможным оперативно изменять и вращать, то можно будет корректировать траекторию ее движения в почве (рис. 1). Решение этого вопроса позволит увеличить длину подземных пролетов прокола высокоэффективным статичным методом в несколько раз, а именно, от 15 или 20 м гарантированной точности до 100 м. Именно после 100 м начинается эффективное использование более сложных и дорогих машин ГСБ.

Установлено, что использование прокалывающего органа со скошенной поверхностью позволяет управлять траекторией его движения и проводить проколы по некоторой криволинейной траектории [8, 9, 10]. Для прямолинейного прокола грунта применимы только симметричные рабочие органы, для коррекции прокола – головка со скошенной поверхностью.

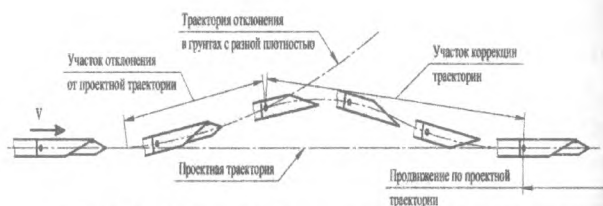


Рис. 1. Принцип коррекции траектории движения головки в грунте

Fig. 1. The principle of motion trajectory of correction movement heads in the soil

Допускается отклонение от проектной точки выхода прокалывающей головки в принимаемом котловане по горизонту в пределах ± 40 см, а по вертикали ± 20 см при пролёте прокола до 20 м. Если расстояние от точки критического отклонения к приёмному котловану еще является достаточно большим, то необходимо провести коррекцию прокола. Для установления условия эффективной траектории движения прокалывающей головки рассмотрим схему ее продвижения в грунте (рис.2), из которой видно, что процесс коррекции движения прокалывающей головки происходит не одновременно, а постепенно. При этом отклонение от проектной оси будет происходить из исходной точки В к максимальному отклонению от траектории в точке С. Это следует учитывать при установлении точки критического отклонения Нвид. Дальнейшее движение головки нуждается в изменении положения скошенной поверхности на 180° до тех пор, пока траектория движения головки не достигнет проектного направления в точке Е. Дальше наконечник головки должен изменить свою скошенную форму на конусную и передвигаться дальше в прямом направлении. Если отклонение

снова достигнет своего критического значения, процесс коррекции надо повторить опять. Из приведенного возникают вопросы: каким может быть критическое отклонение от проектной траектории, какое максимальное отклонение линии может возникнуть и на каком расстоянии может состояться коррекция траектории движения? Для ответа на эти вопросы надо установить факторы что влияют на процессы работы оборудования и установить линию траектории прокола почвы во время ее коррекции.

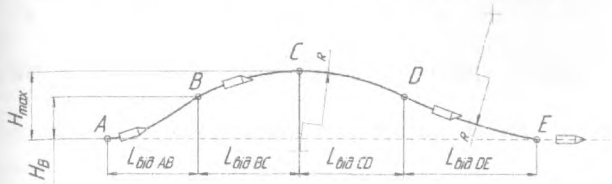


Рис. 2. Схема для расчета траектории прокола грунта

Fig. 2. Scheme for calculating the trajectory of the puncture of the soil

Отображенная схема движения головки на рис.2 определяется формой наконечника прокалывающей головки, а ее траектория устанавливает линию прогиба толкающих штанг.

Стремление сократить величины отклонения и длины участка коррекции может привести работу штанг в безопасную зону коррекции, когда она может сломаться (рис. 3).



Рис. 3. Зоны эффективности траектории прокола почвы

Fig. 3. Zone efficiency trajectory puncture the soil

Управления процессом коррекции и выбор траектории прокола определяется углом скоса наконечника прокалывающей головки и зависит от типа почвы в котором разрабатывается скважина. Значения отклонения головки в зависимости от этих факторов были исследованы в работе [10] и могут быть представлены в графическом виде, приведенном на рис. 4).

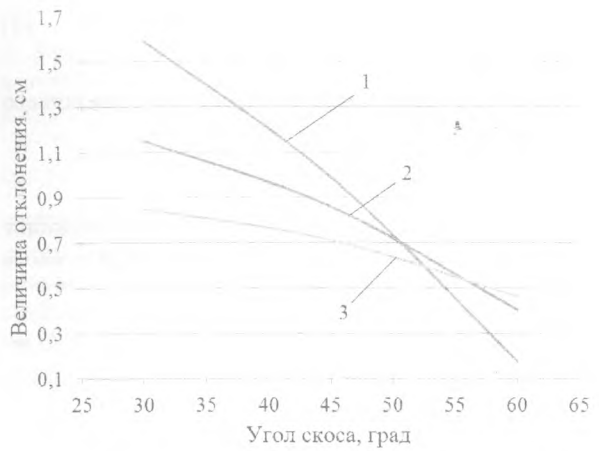


Рис. 4. Зависимость отклонения головки от углу скоса наконечника: 1 - в супеси; 2 - в суглинке; 3 - в глине

Fig. 4. Dependence of head deviation from a corner skosa Tip: 1-in sandy loam; 2-loam; 3-in the clay

Если в процессе прокола головка снаряда в направлении нормальном к оси прокола OX отклонилась на некоторую величину, необходимо ввести в действие элемент головки со скошенной поверхностью так, чтобы возникла отклоняющая сила в направлении противоположном возникшему отклонению y_0 (см. рис. 5).

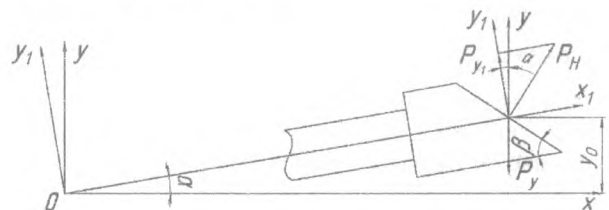


Рис. 5. Силы на отклоняющейся головке

Fig. 5. Force on departure head

Исходя из второго закона Ньютона и результатам исследований [11] уравнение движения головки снаряда в направлении оси OY будет иметь вид

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} = P_y (1 - \lambda) \cos \alpha \quad (1)$$

Результаты, полученные в работе [11] установить коэффициент λ :

$$\lambda = 1 - \frac{2mL(1 - Ktg\beta)}{P_n} \quad (2)$$

Тут K та n – різні чисельні значення для різних типів ґрунтів:

для супісі: $K=21,3; n=0,532;$

для суглинку: $K=33,6; n=0,425;$

для глини: $K=46,88; n=0,325.$

Подставляя (2) в (1) дифференциальное уравнение примет вид:

$$\frac{d^2y}{dt^2} = \frac{2L(1-kg\beta)}{t_1^2 n} \sqrt{1 - \left(\frac{y}{L}\right)^2}, \quad (3)$$

где L и t_1 – длина одной секции прокальвающего механизма и время прокола соответственно;

β – угол скоса элемента головки;

k и n – коэффициенты, характеризующие физические свойства грунта, зависящие от угла скоса β ;

α – угол между направлением прокола и осью штанги с прокальвающей головкой;

m – масса головки снаряда;

y_0 – отклонение головки снаряда от направления прокола в нормальном направлении.

В начальный момент времени необходимо найти решение дифференциального уравнения (3) при начальных условиях

$$y|_{t=0} = y_0, \quad \frac{dy}{dt}|_{t=0} = 0. \quad (4)$$

Краевая задача (3) и (4) является нелинейной задачей, и ее решение может быть получено с помощью метода конечных разностей. Полученное решение y_1 будет являться величиной, на которую отклонится головка снаряда в направлении, противоположном первоначально заданному отклонению y_0 при прохождении одной штанги прокальвающего механизма.

Для определения отклонения y_2 при прохождении второй штанги механизма необходимо решить уравнение (3) с начальными условиями

$$y|_{t=0} = y_1, \quad \frac{dy}{dt}|_{t=0} = 0. \quad (5)$$

Этот процесс необходимо продолжать n раз и получить величину

$$y_0 - y_1 - y_2 - \dots - y_n = \bar{y}. \quad (6)$$

Зная величину y_0 и \bar{y} , а также количество штанг прокальвающего механизма, использованных при этом, можно определить траекторию, радиус которой максимально приближается к допустимой линии изгиба штанги. При вероятности достижения предельной величины отклонения $y_0 - \bar{y}$ необходимо прокальвающую головку снаряда повернуть на 180° вокруг оси штанги и продолжить процесс прокола

Для расчета дальнейшей траектории прокола необходимо решать уравнение (3) с начальными условиями

$$y|_{t=0} = \bar{y}, \quad \frac{dy}{dt}|_{t=0} = 0. \quad (7)$$

В результате вычислений получим значение y_k (см. рис. 5).

Исходя из результатов, полученных ранее (см. рис. 3), возьмем $y|_{t=0} = \frac{y_0}{2}$

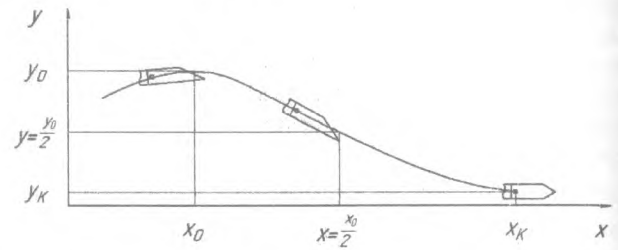


Рис. 6. Уравнение траекторией движения головки снаряда

Fig. 6. The equation of motion trajectory of a projectile heads

После поворота прокальвающей головки на 180° при значении отклонения $y = \frac{y_0}{2}$ (см. рис.6)

дальнейший расчет траектории движения головки снаряда производится согласно уравнению [2] с начальными условиями

$$y|_{t=0} = \frac{y_0}{2}; \quad \frac{dy}{dt}|_{t=0} = 0. \quad (8)$$

для первой из добавленных штанг и для всех последующих с обновленными начальными условиями. В результате получим следующую последовательность значений

$$y_k = \frac{y_0}{2} - y_1 - y_2 - \dots - y_n - y_{n+1} - \dots - y_{n+k}. \quad (8)$$

Процесс прокола необходимо продолжать до тех пор, пока величина отклонения y_k от оси прокола будет достаточно малой.

Учитывая, что отклонение незначительной величины в пределах 30-40 мм на участке 10 м, для коррекции процесса из этих условий понадобится участок свыше 15-20 м. Таким образом, можно допустить, что при проколе длиной до 100 м таких участков коррекции может возникнуть до 3-4 штук. А это значит, что установка прокола должна иметь два привода движения: подачи и вращения. Конструкция наконечника грунтопрокальвающей головки при этом должна в нужное время изменять свою форму с конусной на скошенную. Угол наклона плоскости в этом положении должен отвечать условию создания эффективной линии траектории движения головки, которая зависит от типа грунта, который разрабатывается. Такая конструкция установки и рабочего оборудования предлагается авторами в патентах [12, 13].

Проверка теоретических положений, полученных в работе, связанных с влиянием угла наклона скошенного наконечника на величину отклонения траектории движения прокальвающей головки от проектной оси проводилась по разработанной методике проведения полевых исследований с

экспериментальной моделью установки и рабочим органом, представленными на рис. 7.



Рис. 7. Экспериментальная установка для прокола грунта
Fig. 7. Experimental setup to puncture the soil

Сменные наконечники и измерение их величины отклонения на выходе в приёмном котловане представлены на рис.

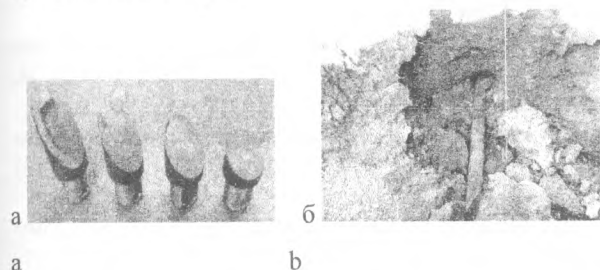


Рис.8. Проверка величины отклонения головки от проектного направления: а – экспериментальные наконечники; б – отклонение головки на выходе
Fig. 8. Check the values of the deflection head from project directions: a-experimental terminals; b- deviation of the head on exit

Таблица 1.

Результаты измерений величин отклонений

Table 1.

Results of measurements the values of deviations

Угол наклона скоса	Величина отклонения головки, см								
	Супесь			Суглинок			Глина		
	Эксперим.	Расчёт	%	Эксперим.	Расчёт	%	Эксперим.	Расчёт	%
25°	40	35	12	44	39	11	20	18	9
40°	29	26	10	28	25	11	17	15	12
55°	14	11	12	16	18	11	13	11	15
70°	-	-	-	-	-	-	3	2	33

Результаты экспериментальных измерений величины отклонения головки на дистанции 10 м для разных углов наклона лобовой поверхности к оси наконечника и их сравнение с расчётными данными представлены в таблице.

Из таблицы видно, что отклонение теоретических данных от экспериментальных не превышает 15%. Большой процент расхождения при угле 70° объясняется, тем, что влияния данного угла на процесс управления движением головки в грунте практически теряется.

Выводы.

1. Полученные результаты могут быть рекомендованы для практического применения при выборе периметров грунтопрокалывающей головки и схемы привода силовой установки. Методология оперативной коррекции траектории прокола грунта должна учитывать: физико-механические свойства грунта, угол наклона скошенной поверхности наконечника прокалывающей головки, податливость и изгиб штанг.

2. Для реализации процесса коррекции рекомендовано прокалывающую головку делать с адаптированным наконечником, а установку с движениями – подачи и подачи с вращением.

3. Натурные исследования с экспериментальным образцом установки подтвердили теоретические предположения о величине отклонения прокалывающей головки в зависимости от типа грунта в котором разрабатывается скважина и от величины угла скоса лобовой площадки наконечника.

4. Теоретически установлено и экспериментально подтверждено, что максимальное отклонение достигается при меньших углах наклона площадки, а наименьшая величина отклонения происходит в глине. Так, при длине дистанции прокола 10 м для угла наклона 25° в супеси головка отклонится на 40 мм, а в глине на 20 мм. В тоже время при угле 55° отклонение головки в тех же условиях составило 14 и 13 мм соответственно. При угле 70° влияние скоса лобовой поверхности наконечника на процесс теряется.

5. По результатам исследования получено уравнение движения прокалывающего рабочего органа в грунте на участке коррекции траектории, которая даёт возможность выбрать параметры рабочего органа для конкретных грунтовых условий, при которых будет гарантирована рациональная длина участка коррекции в случае отклонения головки от направления её движения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ешуткин Д. Н. Высокопроизводительные гидропневматические ударные машины для прокладки инженерных коммуникаций. [Текст] / под ред. Д. Н. Ешуткин, Ю. П. Смирнов, В. И. Цой, В. Л. Исаев. – М.: Стройиздат, 1990. – 176 с. ISBN 5-274-01151-9. УДК: 38.623.03.
2. Полтавцев И. С. Специальные землеройные машины и механизмы для городского строительства. [Текст] / И. С. Полтавцев, В. Б. Орлов, И. Ф. Ляхович - К.: Будівельник, 1977. - 136 с.
3. Тимошенко В.К. Определение формы наконечника, обеспечивающей минимальное усилие прокола / В.К. Тимошенко // Строительство трубопроводов. – 1969. – №3. – С. 18 – 20.
4. Ромакин Н.Е. Усилие внедрения и оптимальный угол заострения рабочего наконечника при статическом проколе грунта / Н.Е. Ромакин, Н.В. Малкова // Строительные и дорожные машины. – 2006. – № 10. – С. 35 – 37.
5. Земсков В.М. Анализ исследования лобового сопротивления при бестраншейной прокладке трубопроводов методом прокола / В.М. Земсков, А.В. Судаков // Известия ТулГУ. Серия «Подъемно-транспортные машины и оборудование». – Тула: ТулГУ, 2005. Вып. 6. – С. 35 – 38.
6. Гусев И.В., Чубаров Ф.Л. Применение управляемого прокола грунта при бестраншейной прокладке труб / Потенциал современной науки №2, 2014. - с. 30-33.
7. Л.В. Лукиенко, К.А. Головин, А.Е. Пушкарев, М.Н. Каменский Определение необходимого усилия подачи исполнительного органа для установки управляемого прокола. / Известия ТулГУ. Технические науки. Секция «Машиностроение и машиноведение». Вып. 4: в 2 ч. Тула: Изд-во ТулГУ, 2010. – с. 15-21.
8. Супонев В.Н. Исследование процесса изменения состояния грунта вокруг горизонтальной скважины после её формирования методом статического прокола грунта / В. Н. Супонев, С. Л. Хачатурян, В. И. Олексин // - Вестник ХНАДУ. Сборник научных статей. Выпуск №73, 2016. –Харьков, ХНАДУ – С.196-202.
9. Михельсон И.С. Определение напряжений в грунте при внедрении рабочего инструмента бестраншейной прокладывающей машины. / И. С. Михельсон // - Вестник СГТУ. – Саратов, 2011. Вып.1 (50) 0.25п.л.
10. Супонев В.М. Керування процесом корекції траєкторії руху робочого органу при статичному проколі ґрунту / В. Супонев, Автомобільний транспорт, Збірник наукових праць ХНАДУ № 43, (2018) с. 125-129.
11. Кравець С.П. Встановлення реакцій ґрунту і величини відхилення від осевого руху при його проколі асиметричним наконечником / С.В. Кравець, В.М. Супонев, С.П. Балесний / Автомобільний транспорт . Сборник научных трудов. Выпуск 41, 2017. – Харьков, ХНАДУ – С.155-163. 11. Пат. 95501 Україна. МПК E02F 5/18 (2006.01).
12. Установка для керованого проколу ґрунту / Пенчук В.О., Белицький Д.Г., Супонев В.М., Олексин В.І., Балесний С.П.; заявитель та патентовласник Харківський національний автомобільно-дорожній ун-тет. № 95501; заявл. 10.07.14; опубл. 25.12.2014, Бюл. № 24. – С. 6.
13. Пілотна ґрунтопроколююча головка для керованого проколу / Пенчук В.О., Супонев В.М., Балесний С.П., Олексин В.І., Щукін О.В., Сидоров В.В., Усік С.В.; заявник і патентовласник Харківський національний автомобільно-дорожній університет. – № u 2016 12583; заявл. 09.12.2016; опубл.10.05.2017. Бюл. № 9.

REFERENCES

1. Eshutkin D. N. Vysokoproizvoditel'nye gidropnevmaticheskie udarnye mashiny dlya prokladki inzhenernykh kommunikacij. [Tekst] / pod red. D. N. Eshutkin, YU. P. Smirnov, V. I. Coj, V. L. Isaev. – М.: Strojizdat, 1990. – 176 s. ISBN 5-274-01151-9. UDK: 38.623.03.
2. Poltavcev I. S. Special'nye zemlerojnye mashiny i mekhanizmy dlya gorodskogo stroitel'stva. [Tekst] / I. S. Poltavcev, V. B. Orlov, I. F. Lyahovich - K.: Budivelnik, 1977. - 136 s.
3. Timoshenko V.K. Opredelenie formy nakonechnika, obespechivayushchej minimal'noe usilie prokola / V.K. Timoshenko // Stroitel'stvo truboprovodov. – 1969. – №3. – S. 18 – 20.
4. Romakin N.E. Usilie vnedreniya i optimal'nyj ugol zaostreniya rabocheho nakonechnika pri staticheskom prokole grunta / N.E. Romakin, N.V. Malkova // Stroitel'nye i dorozhnye mashiny. – 2006. – № 10. – S. 35 – 37.
5. Zemskov V.M. Analiz issledovaniya lobovogo soprotivleniya pri bestranshejnoy prokladke truboprovodov metodom prokola / V.M. Zemskov, A.V. Sudakov // Izvestiya TulGU. Seriya «Pod"yomno-transportnye mashiny i oborudovanie». – Tula: TulGU, 2005. Vyp. 6. – S. 35 – 38.

6. Gusev I.V., CHubarov F.L. Primenenie upravlyaemogo prokola grunta pri bestranshejnoj prokladke trub / Potencial sovremennoj nauki №2, 2014. - s. 30-33.
7. L.V. Lukienko, K.A. Golovin, A.E. Pushkarev, M.N. Kamenskij Opredelenie neobhodimogo usiliya podachi ispolnitel'nogo organa dlya ustanovki upravlyaemogo prokola. / Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki. Sekciya «Mashinostroenie i mashinovedenie». Vyp. 4: v 2 ch. Tula: Izd-vo TulGU, 2010. – s. 15-21.
8. Suponev V.N. Issledovanie processa izmeneniya sostoyaniya grunta vokrug gorizonta'noj skvazhiny posle eyo formirovaniya metodom staticheskogo prokola grunta / V. N. Suponev, S. L. Hachaturyan, V. I. Oleksin // - Vestnik HNADU. Sbornik nauchnyh statej. Vypusk №73, 2016. –Har'kov, HNADU – S.196-202.
9. Mihel'son I.S. Opredelenie napryazhenij v grunte pri vnedrenii rabocheho instrumenta bestranshejnoj prokladyvayushchej mashiny. / I. S. Mihel'son // - Vestnik SGTU. – Saratov, 2011. Vyp.1 (50) 0.25p.1.
10. Suponev V.M. Keruvannya procesom korekciï traektorii ruhu robochoho organu pri staticnomu prokoli gruntu / V. Suponev, Avtomobil'nyj transport, Zbirnik naukovih prac' HNADU № 43, (2018) s. 125-129.
11. Kravec' S.P. Vstanovlennya reakcij gruntu i velichini vidhileniya vid os'ovogo ruhu pri jogo prokoli asimetrichnim nakonechnikom / S.V. Kravec', V.M. Suponev, S.P. Balesnij / Avtomobil'nyj transport . Sbornik nauchnyh trudov. Vypusk 41, 2017. – Har'kov, HNADU – S.155-163. 11. Pat. 95501 Ukraina. MPK E02F 5/18 (2006.01).
12. Ustanovka dlya kerovanogo prokolu gruntu / PENCHUK V.O., BELIC'KIJ D.G., SUPONEV V.M., OLEKsin V.I., Balesnij S.P.; zayavitel' ta patentovlasnik Harkivs'kij nacional'nij avtomobil'no-dorozhnyj un-tet. № 95501; zayavl. 10.07.14; opubl. 25.12.2014, Byul. № 24. – S. 6.
13. Pilotna gruntoprokolyuyucha golovka dlya kerovanogo prokolu / PENCHUK V.O., SUPONEV V.M., Balesnij S.P., OLEKsin V.I., SHCHUKIN O.V., SIDOROV V.V., USIK S.V.; zayavnik i patentovlasnik Harkivs'kij nacional'nij avtomobil'no-dorozhnyj universitet. – № u 2016 12583; zayavl. 09.12.2016; opubl.10.05.2017. Byul. № 9.