

Визначення параметрів повітряного змачення робочих органів пристроїв для проколювання ґрунту

У статті сформульовано переваги використання стисненого повітря як матеріалу для змачення бокової поверхні конічних робочих органів пристроїв для проколювання ґрунту. Визначено основні параметри повітряного змачення в залежності від геометричних параметрів робочого органу та фізико-механічних властивостей ґрунту

робочий орган, проколювання ґрунту, повітряне змачування, ґрунт, тиск повітря, витрати повітря

Постановка проблеми. Збільшення об'ємів земляних робіт, пов'язаних із будівництвом або реконструкцією підземних інженерних комунікацій, особливо в сільській місцевості, при прокладанні газопроводів і водогонів, кабелів телефонної мережі та інших мереж вимагає вдосконалення як технології виконання зазначених робіт, так і відповідних засобів механізації. В останній час траншейна технологія прокладання комунікацій поступово витісняється безтраншейною, як менш дорогою та такою, що не вимагає великих працевтрат. Найбільш простим із закритих способів проходки свердловин неглибокого залягання є спосіб проколювання. Пристрої для проходки виробок цим способом менш складні та більш надійні, тому при прокладанні підземних комунікацій діаметром до 700мм на відстань до 60м використовується, головним чином, спосіб проколювання. Досвід експлуатації існуючих установок для проколу ґрунту свідчить про те, що підвищення їх ефективності може бути досягнуто

© С.Л. Хачатурян, 2012

за рахунок використання повітряного змачення ґрунтопроколюючих робочих органів. Проте для надійної та ефективної роботи таких робочих органів необхідне визначення раціональних параметрів системи повітряного змачення залежно від геометрії робочого органу та фізико-механічних властивостей ґрунту.

Аналіз останніх досліджень. До недавнього часу зусилля дослідників були спрямовані, головним чином, на з'ясування фізичної сутності процесу проколювання ґрунту [2], розробку на цій основі розрахункових положень із визначення опору ґрунту проколюванню в залежності від фізико-механічних властивостей ґрунту [6], встановлення оптимальної геометрії робочого органу [4] та раціональних параметрів установок для безтраншейного прокладання комунікацій і раціональних режимів проколювання [3]. При цьому залишаються поза увагою питання, пов'язані з можливістю зниження опору ґрунту проколюванню шляхом усунення чи суттєвого зниження сил зовнішнього тертя на бокові поверхні ґрунтопроколюючого робочого органу за рахунок використання ефекту вібрації чи повітряного змачення.

Мета статті. Визначення параметрів повітряного змачення ґрунтопроколюючого робочого органу, при котрих досягається максимальне зниження опору ґрунту проколюванню.

Виклад основного матеріалу. Коефіцієнт зовнішнього тертя ґрунту можна знизити, використовуючи ефект вібрації, а також шляхом подачі стисненого повітря. Другий спосіб видається більш перспективним з таких міркувань. По перше, на відміну від першого способу, коефіцієнт тертя може бути знижений, практично, до нуля. По друге, шкідливі діяння вібрації на обслуговуючий персонал, масив ґрунту та інженерні комунікації, що в ньому знаходяться, відсутні. Крім того, можливість вибору кутів

загострення робочого органу, при котрих відсутнє перед ним ядро ущільнення, дозволяє досягти максимального ефекту від повітряного змащення з огляду наявності тонкої повітряної плівки безпосередньо між об'єктами тертя – ґрунтом і боковою поверхнею робочого органу.

Найбільший інтерес являє собою визначення тих параметрів повітряного змащення, при котрих досягається максимальне зниження опору ґрунту проколюванню. Це має місце, коли поверхня ґрунтового масиву та робочого органу розділені шаром повітря. Стійкий шар повітряного мастила при заданій товщині t вихідної щілини може бути забезпечений достатньою величиною витрат стисненого повітря Q , необхідним його тиском P на виході із щілини та по довжині твірної l кінцевого робочого органу. Визначимо основні параметри повітряного змащення стосовно до кінчних робочих органів ґрунтопроколюючих пристроїв.

Розрахункову схему представимо в циліндричних координатах, у котрих поверхня робочого органу являє собою розгорнуту на площині бокову поверхню конуса (рис. 1).

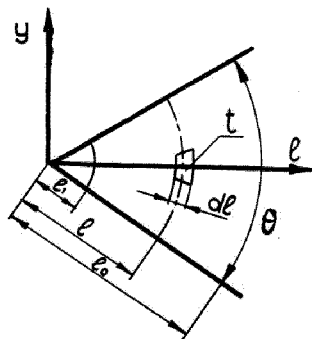


Рисунок 1 – Розгортка бокової поверхні кінцевого робочого органу з подачею повітряного змащення через щілину

Рівняння руху у мастильному шарі в циліндричних координатах запишуться у вигляді [1]

$$\frac{\partial P}{\partial l} = \mu \frac{\partial^2 V_1}{\partial y^2}, \quad \frac{\partial P}{\partial y} = 0; \quad \frac{\partial P}{\partial \theta} = 0, \quad (1-3)$$

де V_1 – швидкість повітря в напрямку осі l ;

μ – в'язкість повітря.

У подальшому при визначенні основних параметрів повітряного змащення будемо спиратися на універсальну методику, розроблену д.т.н., проф. В.К. Рудневим, яка може бути використана, практично, стосовно до будь-якого типу робочих органів машин для земляних робіт [5].

З-за незначної різниці температур поверхонь сковзання температуру шару повітряного змащення можна вважати постійною, а процес руху повітря, таким чином, – ізотермічним.

У цьому випадку рівняння стану повітря прийме вигляд

$$\frac{P}{\rho_0} = R \cdot T_0, \quad (4)$$

де ρ_0 – щільність повітря;

R – газова постійна;

T_0 – абсолютна температура.

Рівняння нерозривності стосовно до випадку, що розглядається, має вигляд [1]

$$\frac{\partial(\rho_0 \cdot V_l \cdot l)}{\partial l} = 0. \quad (5)$$

З рівняння (1) за умови постійності тиску повітря по товщині шару (рівняння 2) визначимо швидкість повітря:

$$V_l = \frac{1}{2 \cdot \mu} \cdot \frac{\partial P}{\partial l} \cdot y^2 + C_1 \cdot y + C_2. \quad (6)$$

Постійні інтегрування визначимо з граничних умов, приймаючи умовно робочий орган нерухомим, а ґрунт – таким, який рухається із швидкістю V : при $y=0$, $V_l=0$ – швидкість повітря на межі з поверхнею робочого органу; $y=t$, $V_l=V$ – швидкість повітря на межі з ґрунтом.

На цій основі

$$C_1 = \frac{t}{2 \cdot \mu} \cdot \frac{\partial P}{\partial l} + \frac{V}{t}; C_2 = 0. \quad (7)$$

Відповідно, швидкість руху повітря

$$V_l = -\frac{1}{2 \cdot \mu} \cdot \frac{\partial P}{\partial l} \cdot y(t-y) + \frac{V}{t} y. \quad (8)$$

Середня за товщиною потоку швидкість повітря

$$V_l^{сеп.} = \frac{1}{t} \int_0^t V_l \cdot dy = -\frac{t^2}{12 \cdot \mu} \cdot \frac{\partial P}{\partial l} + \frac{V}{2}. \quad (9)$$

Так як швидкість руху повітря в шарі змащення приблизно на три порядки вища швидкості руху робочого органу, величиною $\frac{V}{2}$ у подальшому зневажаємо:

$$V_l^{сеп.} = -\frac{t^2}{12 \cdot \mu} \cdot \frac{\partial P}{\partial l}. \quad (10)$$

Об'ємні витрати повітря

$$Q = \int V_l^{сеп.} \cdot t \cdot dl_0. \quad (11)$$

При постійній величині t витрати повітря в місці подачі

$$Q = -\frac{\pi \cdot l_1 \cdot t^3 \cdot \sin \alpha}{6 \cdot \mu} \left(\frac{\partial P}{\partial l} \right)_{l=l_1}. \quad (12)$$

Величину $\left(\frac{\partial P}{\partial l} \right)_{l=l_1}$ можна визначити, розв'язавши таке рівняння. Підставляючи (4) і (10) в умову (5), отримаємо вираз, який описує розподілення тисків у повітряному шарі:

$$-\frac{t^2}{12 \cdot \mu \cdot R \cdot T_0} \cdot \frac{\partial}{\partial l} \left(\frac{\partial P^2}{\partial l} l \right) = 0. \quad (13)$$

Так як $-\frac{t^2}{12 \cdot \mu \cdot R \cdot T_0} \neq 0$ і, вважаючи $P_* = P^2$, рівняння (13) можна представити таким чином:

$$l \frac{\partial^2 P_*}{\partial l^2} + \frac{\partial P_*}{\partial l} = 0. \quad (14)$$

Це рівняння легко інтегрується:

$$P_* = P^2 = C_1 \cdot \ln l + C_2. \quad (15)$$

Постійні інтегрування визначимо з початкових умов: при $l=l_1$ $P=P_1$ – тиск на виході повітря з щілини, при $l=l_0$ $P=P_0$ – тиск повітря на виході з шару змащення, рівний атмосферному. На цій основі отримаємо:

$$C_1 = \frac{P_0^2 - P_1^2}{\ln \frac{l_0}{l_1}}; C_2 = P_1^2 \left[1 + \left(1 - \frac{P_0^2}{P_1^2} \right) \frac{\ln l_1}{\ln \frac{l_0}{l_1}} \right]. \quad (16)$$

З урахуванням (16) рівність (15) прийме вигляд

$$P = P_1 \sqrt{1 - \left(1 - \frac{P_0^2}{P_1^2} \right) \frac{\ln \frac{l}{l_1}}{\ln \frac{l_0}{l_1}}}. \quad (17)$$

Розподілення тиску в мастильному шарі залежить від відношення $\frac{l_0}{l_1}$ і інтенсивно падає по довжині твірної конічного робочого органу. Тиск, як видно з (17), падає тим швидше, чим більше P_1 і відношення $\frac{l_0}{l_1}$.

З (17) визначаємо

$$\left(\frac{\partial P}{\partial l} \right)_{l=l_1} = - \frac{(P_1^2 - P_0^2)}{2 \cdot \ln \frac{l_0}{l_1} P_1 \cdot l_1}. \quad (18)$$

Підставляючи рівність (18) у рівняння (12), знайдемо об'ємні витрати повітря

$$Q = \frac{\pi \cdot t^3 (P_1^2 - P_0^2) \sin \alpha}{12 \cdot \mu \cdot P_1 \cdot \ln \frac{l_0}{l_1}}. \quad (19)$$

Аналогічно, потрібні витрати повітря при атмосферному тиску

$$Q = \frac{\pi \cdot t^3 (P_1^2 - P_0^2) \sin \alpha}{12 \cdot \mu \cdot P_0 \cdot \ln \frac{l_0}{l_1}}. \quad (20)$$

З (20) слідує, що витрати стисненого повітря пропорційні ширині щілини t для подачі стисненого повітря в третьому ступені та зростає із збільшенням довжини поверхні конічного робочого органу, що змащується, по кривій параболічного типу.

При формуванні потоку повітря, що подається на бокову поверхню робочого органу, можна вважати, що товщина повітряного шару дорівнює товщині вихідної щілини для подачі повітря. Останню для конічних ґрунтопроколюючих робочих органів, як показало їх конструювання та виготовлення, виконати менше 0,1 мм вельми складно.

Крім визначення потрібної витрати повітря, товщини вихідної щілини необхідно встановити також величину тиску подачі повітря. При цьому будемо вважати, що рівнодіюча тиску повітря в шарі змащення повинна бути рівною нормальному тиску з боку масиву ґрунту, що припадає на змащувальну поверхню робочого органу.

Крива зміни тиску повітря може бути описана з достатнім ступенем точності таким рівнянням:

$$P = \frac{(l - l_0) \cdot (P_1 - P_0)}{l_1 - l_0} + P_0. \quad (21)$$

Тоді величина головного вектора сил тиску (рис. 2), дорівнює

$$P = 2 \cdot \pi \cdot \sin^2 \alpha \int_{l_1}^{l_0} \left[\frac{(l - l_0) \cdot (P_1 - P_0)}{l_1 - l_0} + P_0 \right] l \cdot dl - P_0 \cdot \pi \cdot l_0^2 \cdot \sin^2 \alpha. \quad (22)$$

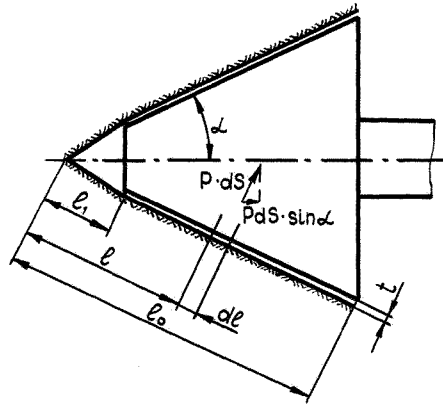


Рисунок 2 – Схема робочого органу з повітряним змащенням

Рішення рівняння (22) дає вираз, який встановлює залежність тиску повітря P_1 на виході з щілини від величини максимальних нормальних контактних напружень σ_{max} , які виникають на боковій поверхні конічного робочого органу при проколюванні ґрунту, у вигляді

$$P_1 = \frac{2 \cdot \sigma_{max} (l_0^3 - l_1^3) + 3 \cdot P_0 \cdot l_0^3}{6 \cdot l_0 \left\{ \left[\frac{1}{3} \cdot \frac{(l_0^3 - l_1^3)}{(l_1 - l_0)} - \frac{1}{2} l_0 \frac{(l_0^2 - l_1^2)}{(l_1 - l_0)} \right] + \frac{P_0}{2} (l_0^2 - l_1^2) \right\}} + P_0. \quad (23)$$

При різанні ґрунту робочими органами землерийно-транспортних машин фільтраційні властивості стружки та розпушеного ґрунту здійснюють суттєвий вплив на параметри повітряного змащення [5]. Специфічні умови роботи ґрунтопроколюючих робочих органів з повітряним змащенням дозволили при визначенні витрат стисненого повітря, розподілення тисків по довжині твірної конічного робочого органу та тиску стисненого повітря на виході з щілини не враховувати фільтраційні втрати стисненого повітря. Таке уточнення ґрунтується на тому, що коефіцієнт проникності у масиві ґрунту, ущільненому ґрунтопроколюючим робочим органом, приблизно у 85 разів менший коефіцієнту проникності для стружки ґрунту.

Висновки. Стосовно до розрахункового ґрунту з числом ударів динамічного щільноміра $S=10 \div 12$, діаметру робочого органу $D=0,15$ м і кута загострення $2\alpha=50^\circ$ виконано аналіз отриманих рівнянь (17), (20) і (23). Середня величина тиску в мастильному шарі знаходиться в межах 0,668 МПа, а витрати стисненого повітря – 0,1175 м³/хв. Розрахунки показали, що при утворенні шару змащення на межі поверхонь тертя сила опору ґрунту проколюванню може бути знижена в 2,4 ÷ 2,6 рази, що дозволяє без підвищення силових параметрів ґрунтопроколюючого пристрою збільшити в 1,55 ÷ 1,61 рази діаметр свердловини, що проколюється.

Список літератури

1. Константиnescу В.Н. Газовая смазка / В.Н. Константиnescу. – М, «Машиностроение», 1968.
2. Машины для бестраншейной прокладки подземных коммуникаций / С.В. Кравец, Н.Д. Каслин, В.К. Руднев, В.Н. Супонев. – Х.: ООО «Фавор», 2008. – 256 с.
3. Олексин В.И. Комбинированный метод разработки горизонтальной скважины при бестраншейной прокладке коммуникаций / В.И. Олексин // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. Сборник научных трудов. – 2012. – Выпуск 57. – С. 207 – 213.

4. Ромакин Н.Е. Усилие внедрения и оптимальный угол заострения рабочего наконечника при статическом проколе грунта / Н.Е. Ромакин, Н.В. Малков // Строительные и дорожные машины. – 2006. – №10. – С. 35 – 37.
5. Руднев В.К. Копание грунтов землеройно-транспортными машинами активного действия / В.К. Руднев. – Х.: «Вища школа», 1974. – 143 с.
6. Супонев В.Н. Обоснование параметров установок для бестраншейной прокладки распределительных сетей инженерных коммуникаций методом гидростатического прокола / В.Н. Супонев, В.И. Олексин // Энергосбережение, энергетика, энергоаудит. – 2010. - №5. – С. 66 – 74.

С. Хачатурян

Определение параметров воздушной смазки рабочих органов устройств для прокола грунта

В статье сформулированы преимущества использования сжатого воздуха как материала для смазки боковой поверхности конических рабочих органов устройств для прокола грунта. Определены основные параметры воздушной смазки в зависимости от геометрических параметров рабочего органа и физико-механических свойств грунта.

S. Hachaturian

Determination of parameters of air butter of workings organs of devices for the puncture of soil

In the article advantages of the use of the compressed air are formulated as material for greasing of lateral surface of conical workings organs of devices for the puncture of soil. The basic parameters of the air greasing are certain depending on the geometrical parameters of working organ and physical-mechanical properties of soil.

Одержано 18.10.12