

КІНЕМАТИЧНИЙ АНАЛІЗ КОМБІНОВАНОГО КІВШЕВО-ШНЕКОВОГО БУРИЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ
ДЛЯ ПІВЗВ'ЯЗНИХ ГРУНТІВ

Вячеслав Смірнов, Василь Головань, Денис Старовойтенко

Київський національний університет будівництва і архітектури,
Повітрофлотський пр-кт 31, Київ, Україна, orprofn@knuba.edu.uaKINEMATICS ANALYSIS OF COMBINED SCOOP-SCREW OF BORING EQUIPMENT IS FOR
SEMILIAISONS OF SOILS

Vyacheslav Smirnov, Vasiliy Golovan, Denys Starovojtenko

Kyiv National University of Construction and Architecture,
Povitroflotsky Prospect 31, Kyiv, Ukraine

АНОТАЦІЯ. Наведено результати досліджень по створенню нової конструкції комбінованого ківшово-шнекового робочого органа бурильних машин для буріння свердловин в складних півзв'язних ґрунтах. Робочий орган складається із двох співвісних частин – кільцевого та спірального (або лопатевого) бура суцільного буріння, кожен з яких обладнаний шнеком. Руйнування і транспортування ґрунту із свердловини здійснюється одночасно двома складовими частинами робочого органа, що дає змогу підвищити продуктивність буріння і транспортування.

Ключові слова: бур, свердловина, обертальник, шнек.

АННОТАЦИЯ. Приведены результаты исследований по созданию новой конструкции комбинированного ковшево-шнекового рабочего органа бурильных машин для бурения скважин в полусвязных сложных грунтах. Рабочий орган состоит из двух соосных частей – кольцевого и спирального (или лопатного) бура сплошного бурения, каждый из которых оснащен шнеком. Разрушение и транспортировка грунта из скважины осуществляется одновременно двумя составными частями рабочего органа, что позволяет повысить производительность бурения и транспортирования.

Ключевые слова: бур, скважина, вращатель, шнек.

SUMMARY. Purpose. research and create a new design combined screw-Screener working body boring machines for drilling in difficult terrain semi-cohesive, and their rotation is performed at different speeds. **Methodology/approach.** It is proposed to carry out the destruction and transport of soil from the well at the same time the two components of the working body that can improve the performance of drilling and transportation. **Research limitations/implications.** Using a ladle proposed drill when drilling large diameter serial boring machines will expand the boundaries of their use in rocks with complex geological structure, especially in the little coherent and frozen soils. **Originality/value.** Work has scientific and practical interest for further research

Key words: bore, mining hole, screw.

Подано 2.12.2013; прийнято 14.12.2013

ВСТУП

Буріння свердловин великих діаметрів в складних гірничо-геологічних умовах під опори будівельних споруд потребує розробки спеціального бурильного обладнання, конструкція якого залежить від механічних властивостей ґрунтів та технологічних особливостей процесу.

Використання відомих конструкцій бурів кільцевого типу, в яких руйнування породи здійснюється створенням поперечного кільцевого прорізу, а керни, що створюються всередині, видаляються із свердловини разом з кільцевим корпусом, обладнаним різними спеціальними пристроями, не ефективно при бурінні півзв'язних та тонкошарових порід. Причи-

ною є руйнування стінок свердловини та керна, який не утримується всередині кільцевого корпусу при видаленні із свердловини. Такі конструкції можуть використовуватися при бурінні порід з однорідною структурою.

Тому для буріння порід із складною гірничо-геологічною структурою тонкошарових, півзв'язних, галечних пропонуються ківшеві бури різних конструкцій [1, 2]. Для буріння свердловин діаметром 400...1000мм пропонується конструкція ківшевого бура, обладнаного ґрунторуйнівною частиною, циліндричним накопичувачем з завантажувальним шнеком на його зовнішній поверхні та відцентровим розвантажувальним пристроєм в нижній частині [1]. Завантаження накопичувача здійснюється шнеком

через верхню частину циліндричного корпусу.

В другій аналогічній конструкції ківшевого бурильного обладнання [2] пропонується модернізація ґрунторуйнівного пристрою, що знаходиться під бункером-накопичувачем, який складається із двох співвісних ґрунторуйнівних частин – зовнішньої та внутрішньої, що обертаються за різних швидкостей. Збільшення швидкості обертання внутрішньої ґрунторуйвної частини дає змогу забезпечити більш рівномірне навантаження на різці, що працюють на різній відстані від центра бура та підвищити ефективність процесу буріння.

Основним недоліком попередніх конструкцій ківшевих бурів є використання способу завантаження накопичувачів, яке здійснюється за допомогою зовнішніх шнекових пристроїв обмеженої ширини через верхні частини циліндричних корпусів, що зменшує продуктивність буріння.

ВИКЛАД МАТЕРІАЛУ

Мета створення нової конструкції бурильного обладнання є підвищення ефективності буріння свердловин в породах із складною геологічною структурою та покращення його транспортуючої спроможності при роботі на півзв'язних, галечних, тонкошарових та дрібнокускових породах.

Пропонується конструкція комбінованого ківшево-шнекового бурильного обладнання, що складається із двох співвісних частин – кільцевого та спірального, або лопатевого бура із шнеками, які обертаються за різних швидкостей. Таким чином руйнування ґрунту і його транспортування із свердловини здійснюється одночасно двома частинами робочого органа - внутрішньою та зовнішньою, що дає змогу підвищити продуктивність буріння та транспортуючу спроможність шнеків.

Обертання складових частин робочого органа може здійснюватись обертальниками, оснащеними співвісними двома вихідними валами, наприклад з планетарним механізмом та спеціальною двовальною буровою штангою, співвісні вали якої (один з них порожнистий, другий – закріп-

лений всередині за допомогою підшипників) з'єднані із відповідними складовими частинами робочого органа.

Кінематична схема планетарного обертальника з буровим комбінованим робочим органом та їхні картини швидкостей подані на рис. 1 а, б, в. На цій схемі прийняті позначення: 1 – центральне рухоме зубчасте колесо (вал-шестерня) планетарного обертальника; 2 – сателіти; 3 – нерухоме центральне зубчасте колесо; h – водило; l , h' – внутрішня та зовнішня складові різальної частини робочого органа, відповідно.

Із картин швидкостей визначаємо значення кутових швидкостей обертання центрального ведучого зубчастого колеса планетарного обертальника ω_1 , сателітів ω_2 , водила ω_h та складових частин робочого органа ω_l та $\omega_{h'}$.

Враховуючи, що вал центрального ведучого зубчастого колеса 1 з'єднано з центральною частиною робочого органа 1 і передає їй обертання, визначаємо їхні кутові швидкості:

$$\omega_1 = \omega_l = \frac{V_1}{r_1} = \frac{\mu_v}{\mu_l \operatorname{tg} \delta_1},$$

де V_1 , r_1 – колова швидкість обертання та радіус центрального ведучого зубчастого колеса, відповідно; μ_v та μ_l – масштаби картини швидкостей та схеми.

Аналогічно визначаємо кутову швидкість сателітів

$$\omega_2 = \frac{V_2}{r_2} = \frac{\mu_v}{\mu_l \operatorname{tg} \delta_2},$$

де V_2 та r_2 – колова швидкість та радіус сателітів.

Кутова швидкість водила і з'єднаної з ним складової зовнішньої частини робочого органа

$$\omega_h = \omega_{h'} = \frac{V_h}{r_h} = \frac{V_{h'}}{r_{h'}} = \frac{\mu_v}{\mu_l \operatorname{tg} \delta_h},$$

де V_h , $V_{h'}$ та r_h , $r_{h'}$ – колові швидкості та радіуси водила і складової частини робочого органа.

Передаточне число для прийнятої схеми планетарного механізму визначаються за формулою

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_h} = 1 + \frac{Z_3}{Z_1},$$

де Z_1 - число зубців шестерні; Z_3 - число зубців нерухомого центрального зубчастого колеса 3 (рис. 1а).

швидкості їх обертання; передаточне відношення обертальника, максимальне та мінімальне значення колових швидкостей різців (v_{\max}, v_{\min}).

Для аналізу та вибору основних параметрів робочого органа складена узагальню-

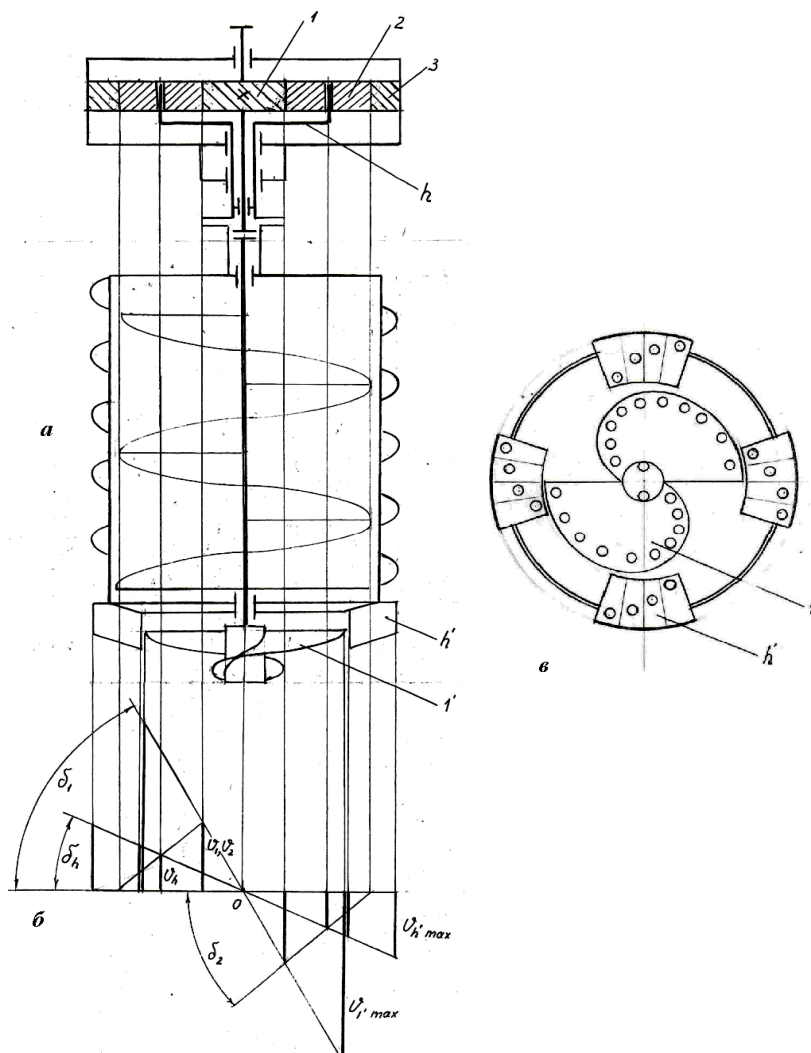


Рис. 1. Схема комбінованого двошвидкісного бурильного обладнання:
 а – двовальний планетарний обертальник з буром; б – загальна картина швидкостей;
 в – зовнішня та внутрішня різальні частини

Fig. 1. Chart of the combined twospeed boring equipment
 а – twin-shaft planetary rotation mechanism of brown; б – general picture speeds;
 в – exterior and internal cutting tools

Висока ефективність роботи нового бурильного обладнання з роздільними ґрунторуйнівними та транспортуючими пристроями може бути забезпечена за рахунок вибору оптимальних значень основних геометричних та кінематичних параметрів, величини яких визначаються із попередніх схем та залежностей. Основними з яких є: співвідношення діаметрів внутрішньої d та зовнішньої D ґрунторуйнівних частин;

юча схема співвісних ґрунторуйнівних частин, що включає різні співвідношення їхніх діаметрів та відповідні картини швидкості і графіки для визначення кутових швидкостей (рис. 2 а, б, в).

При побудові картин швидкостей їхні максимальні значення v_{\max} прийняті за різних діаметрах d_i постійної величини, тобто

$$v_{\max} = \omega_1 r_i = \omega_2 r = \text{const},$$

або

$$v_{\max} = \omega_1 d_{i/2} = i \omega_2 d_{i/2} = \omega_2 D/2 = \text{const},$$

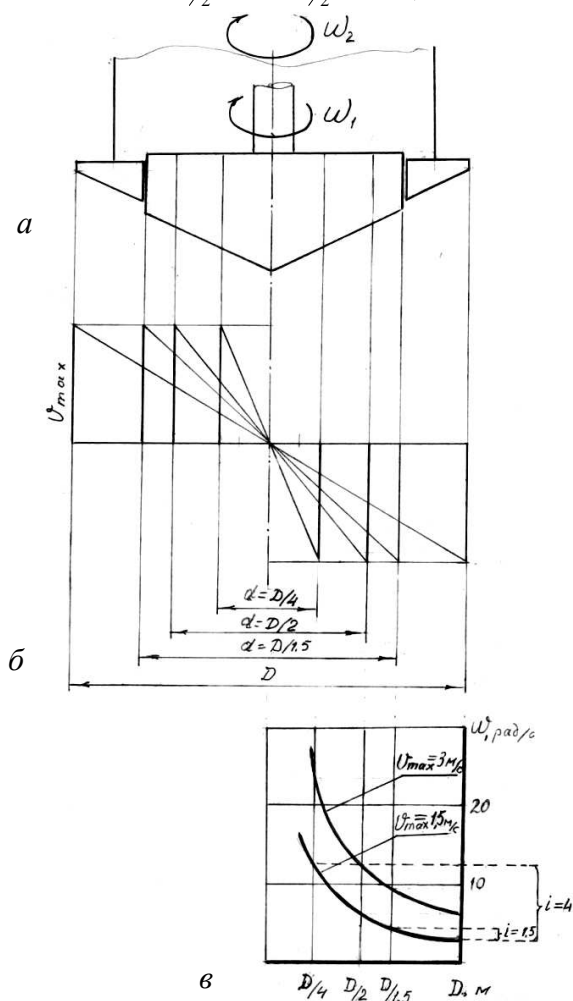


Рис. 2. Вибір співвідношень діаметрів та швидкостей обертання складових ґрунторуйнівних частин робочого органа:

a – схема внутрішньої та зовнішньої ґрунторуйнівних частин; *б* – картини швидкостей; *в* – графіки залежностей кутових швидкостей від співвідношень діаметрів (радіусів) за заданих максимальних значень кулових швидкостей внутрішньої частини

Fig. 2. Selection ratios of diameters and speeds soil-destructive component parts Tools: *a* – scheme of internal and external destructive soil parts; *б* – paintings velocity; *с* – graphics dependence of the angular velocity ratio shen diameter (radius) for a given maximum value of the angular velocity of the inner

звідки кутова швидкість внутрішньої частини робочого органа

$$\omega_1 = v_{\max} / r_i$$

Отже змінними параметрами в приведеному рівнянні є діаметр внутрішньої складової частини робочого органа d_i та його кутова швидкість ω_1 , тому за різним значенням діаметра d_i відповідають значення кутової швидкості ω_1 . Тобто кутові швидкості внутрішньої та зовнішньої складової частини робочого органа пов'язані передаточним відношенням

$$i = \omega_1 / \omega_2$$

За приведеними залежностями та картинами швидкостей побудовані графіки для визначення кутових швидкостей складових частин робочого органа за двох значень максимальної величини кулових швидкостей - $v_{\max} = 1.5 \text{ м/с}$ та $v_{\max} = 3 \text{ м/с}$. Із графіків визначаються значення кутових швидкостей, що відповідають різним співвідношенням діаметрів ґрунторуйнівних частин для заданих величин їхньої максимальної кулової швидкості. За відношенням певної кутової швидкості ω_{1i} до кутової швидкості ω_2 зовнішньої частини робочого органа (що відповідає її діаметру D) одержуємо необхідне для цих умов передаточне число i між співвісними вихідними валами обертальника.

На графіку приведено приклад визначення кутових швидкостей та передаточного числа за $v_{\max} = 1.5 \text{ м/с}$ для значень $d = D/4$ ($\omega_1 = 12.5 \text{ рад/с}$, $\omega_2 = 3.1 \text{ рад/с}$), $i = 4$.

Ефективне транспортування ґрунту шнеками складових частин комбінованого робочого органа можливе за умови, що сили тертя ґрунту об стінку свердловини та об стінку циліндричного корпусу (при обертанні зовнішнього та внутрішнього шнеків) достатні для забезпечення осьового переміщення ґрунту. Зазначені сили тертя створюються відцентровими силами, що діють при обертанні шнеків на частки ґрунту. Отже, для створення достатньої відцентрової сили шнек повинен обертатись з певною швидкістю, яка вище критичної величини (критичної частоти обертання).

Для визначення критичних частот обертання складових частин робочого органа розглянемо спочатку сили, що діють на частку ґрунту на поверхні шнека під час його обертання зовнішньої частини робочого органа. Сили, що діють на частку ґрунту на поверхні шнека внутрішньої частини робочого органа визначаються аналогічно. Схема дії зазначених сил приведена на рис. 3 а, б, в [3].

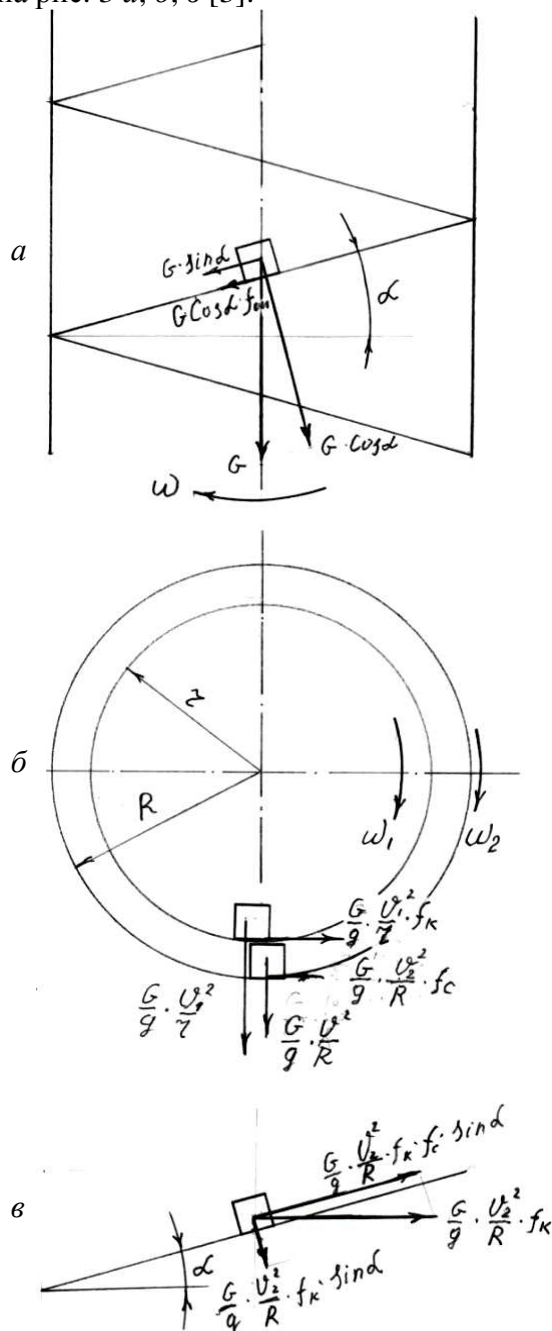


Рис. 3. Схеми сил, що діють на ґрунт при транспортуванні шнеками складових частин робочого органа

Fig. 3. Scheme of forces acting on the soil during transport augers parts working body

Сила, що діє на частку ґрунту вагою G (яка направлена по поверхні шнека вниз при його обертанні), дорівнює складовій $G \cdot \sin \alpha_2$ та силі тертя $G \cdot \cos \alpha f_u$, де f_u - коефіцієнт тертя по поверхні шнека (рис. 3 а).

На частку ґрунту діє також відцентрова сила $G/g \cdot v^2/R$, а отже і сила тертя об стінку свердловини (або об стінку циліндричного корпусу) $G/g \cdot v^2/R \cdot f_c$ (рис. 3 б), де f_c - коефіцієнт тертя по стінці свердловини. Складова тиску цієї сили на поверхню шнека буде (рис. 3 в) $G/g \cdot v^2/R \cdot f_c \sin \alpha_2$ та сила тертя по поверхні шнека $G/g \cdot v^2/R \cdot f_c \cdot f_u \sin \alpha_2$.

Найбільша швидкість, за якої частка ґрунту обертається разом із шнеком без осьового руху, тобто "критична швидкість $v_{кр}$ " визначиться із рівняння

$$G \sin \alpha + G \cos \alpha f_u + G/g \cdot v_{кр}^2 / R f_c f_u \sin \alpha - G/g v_{кр}^2 / R \cdot f_c \cos \alpha = 0$$

звідки

$$v_{кр} = \sqrt{\frac{gR \cdot \sin \alpha + f_u \cos \alpha}{f_c \cos \alpha - f_u \sin \alpha}} = \sqrt{\frac{gR}{f_u} \operatorname{tg}(\alpha + \rho_u)}$$

звідки враховуючи, що

$$v_{кр} = 2\pi R n_{кр} = \pi D n_{кр}$$

критична частота обертів шнека буде [3]:

для внутрішньої частини

$$n_{кр1} = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{2g}{df_k} \operatorname{tg}(\alpha + \rho_u)}$$

Для зовнішньої частини

$$n_{кр2} = \frac{30}{\pi} \sqrt{\frac{2g}{Df_c} \operatorname{tg}(\alpha + \rho_u)}$$

де α - кут підйому шнеків зовнішньої та внутрішньої частини; ρ_u - кут тертя ґрунту по поверхні шнека ($\rho_u = \operatorname{arctg} f_u$); d, D, r, R - діаметри та радіуси внутрішньої та зовнішньої частин робочого органа; f_k, f_c - коефіцієнти тертя ґрунту по циліндричному корпусу та по стінці свердловини.

ВИСНОВОК

Нова конструкція ківшево-шнекового бурильного обладнання, що приводиться до дії обертальником з двома співвісними вихідними валами, які забезпечують роздільне обертання кільцевого та співвісного з ним спірального бура зі шнеком, дає змогу одночасно виконувати руйнування ґрунту кільцевим і спіральним бурами та заповнювати корпус кільцевого бура. Розвантаження його після витягування із свердловини може проводитись через верхню або нижню частину зміною напрямку обертання.

Обертання з різними швидкостями внутрішньої та зовнішньої складових частин бура дає змогу забезпечити більш рівномірне навантаження на різці, що працюють на різній відстані від центра робочого органа та підвищити ефективність процесу буріння.

Використання запропонованого ківшевого бура при бурінні свердловин великого діаметра серійними бурильними машинами дозволить розширити границі їхнього використання в породах із складною гірничо-геологічною структурою, особливо в малозв'язних та мерзлих ґрунтах.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Смірнов В.М., Головань В.П., Конопат О.П.** Розробка та визначення конструктивних параметрів спеціального бурильного обладнання для роботи в складних ґрунтах.

– Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини, № 77, 2011.

2. **Смірнов В.М., Головань В.П., Лук'яненко В.С.** Спеціальне ківшеве бурильне обладнання з роздільним обертанням різальних частин та відцентровим розвантаженням накопичувача. – Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини, № 79, 2012.
3. **Спиваковский А.О., Дьячков В.К.** Транспортирующие машины. – М.: Машиностроение, 1976.

REFERENCES

1. **Smirnov V.M., Golovan V.P., Konopat O.P., 2011.** Rozrobka ta vyznachennja konstruktivnyh parametriv special'nogo buryl'nogo obladdannja dlja roboty v skladnyh g'runtah [Development and definition of the design parameters of a special drilling equipment for tough soils]. Girnichi, bydivelni, dorozni ta meliarativni mashini [Mining, constructional, road and melioration machines], no. 77.
2. **Smirnov V.M., Golovan' V.P., Luk'janenko V.S., 2012.** Special'ne kivsheve buryl'ne obladdann-nja z rozdil'nym obertannjam rizar'nyh chastyn ta vidcentrovym rozvantazhennjam nakopychuvacha [Special bucket drilling equipment with a separate rotation of the cutting units and centrifugal unloading storage]. Girnichi, bydivelni, dorozni ta meliarativni mashini [Mining, constructional, road and melioration machines], no.79.
3. **Spyvakovskyj A.O., D'jachkov V.K., 1976.** Transportyrujushhye mashyni [The transporting machine]. Moscow, Mashynostroenye Publ.