

Дослідження навантаження робочого обладнання ножового трубозаглиблювача для безтраншейного прокладання інженерних комунікацій методом протягування

Супонєв В.М.¹, Рагулін В.М.¹, Ковалевський С.Г.¹

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна

Анотація. Наведена стаття присвячена дослідженню навантаження робочого обладнання ножового трубозаглиблювача для безтраншейного прокладання лінійно-протяжних підземних інженерних комунікацій шляхом їх протягування в ґрунті. Реалізація цього методу вимагає значних тяглових зусиль, що викликає значні напруження в його робочому обладнанні. Виконані дослідження показали, що зміна швидкості руху з 1,5 до 0,5 м/с дозволяє зменшити зусилля, що виникають, з 330 кН до 190 кН, або на 43%. Вперше отримано розрахункові моделі для визначення динамічного навантаження робочого обладнання ножових трубозаглиблювачів під час його зіткнення з перешкодами. Результати дослідження можуть бути рекомендовані для практичного провадження при проектуванні ножових трубозаглиблювачів, які призначені для безтраншейного прокладання підземних комунікацій..

Ключові слова: ножовий трубозаглиблювач, метод протягування, горизонтальна свердловина, лінійно-протяжні мережі, свердловина, навантаження, робоче обладнання, інженерні комунікації, розрахункова схема, математична модель, режими роботи.

Вступ

Зростання обсягів робіт в різних галузях будівництва призвели до збільшення об'єму робіт шляхом безтраншейного прокладання трубопроводів газорозподільних мереж, водопостачання та водовідведення, а також енергетичних кабелів різних типів. Одним з таких методів будівництва лінійно-протяжних об'єктів є протягування трубопроводів в ґрунті, який реалізується спеціальними машинами – ножовими трубозаглиблювачами. Їх принцип дії полягає у глибокому прорізання в ґрунті вузької щілини та утворенні у її нижньої частині горизонтально спрямованої свердловини, крізь яку безпосередньо і затягується трубопровід, або футляр для кабелю. Визначені земляні роботи виконуються за допомогою робочого обладнання у вигляді ножового органу та крота конічно-циліндричної форми, які через навісне обладнання приєднуються з базовим тягачем. Характерними особливостями роботи цієї машини є високий опір різання ґрунту ножом. Результуюча сила опору при

цьому приходиться на нижню частину стійки ножа, яку необхідно виносити на велику відстань від базової машини за допомогою ричажної системи або спеціальної підвіски. Розрахунки їх міцності вимагають урахування не тільки статичних сил, але іще дії на них динамічних навантажень.

Швидкість переміщення трубозаглиблювача під час прокладання підземних комунікацій, як звичай не перевищує 5-6 км/год. Для землерийно-транспортних машин до яких вона належатиме вважається не значною і у однорідних ґрунтах його можна вважати квазістатичним, тобто майже статичним. Але робота трубозаглиблювача на різних місцевостях та в неповністю визначених ґрунтових умовах призводить до високої ймовірності зустрічі його робочого обладнання з різного типу перешкодами захованими під поверхнею ґрунту, таких як: колоди, палі, блоки, залишки будівельних конструкцій тощо. При цьому внаслідок ударів та ривків, виникають додаткові динамічні навантаження на обладнання, яке треба враховувати при розрахунку його

конструктивних елементів та вибору матеріалів для виготовлення.

Таким чином, питання виявлення навантаження робочого обладнання машин ножового трубозаглиблювача для прокладання комунікацій є актуальною задачею.

Аналіз публікацій

Технологія безтраншейного прокладання підземних комунікацій достатньо досконало висвітлена в багатьох дослідженнях вітчизняних та закордонних авторів.

Дослідженню процесу проколювання та продавлювання ґрунту загостреними кільцеподібними наконечниками присвячені роботи [1–3]. Відповідно до [1], процес продавлювання ґрунту наконечником може протікати з його ущільненням у внутрішню порожнину труби, або навпаки. Визначається це напрямом кута загострення кромки [2, 3]. Доведено, що в першому випадку, коли кут направлений на зовні, буде зменшуватися напруженість ґрунту навколо робочого органу, а це у свою чергу дозволяє зменшити ризик пошкодження основи доріг або прилеглих комунікацій, які доводиться перетинати [1]. В другому випадку використання кільцевого наконечника дозволяє можна зробити більший хід та зменшити витрати на видалення ґрунту з труби. Цю операцію можна зробити, наприклад, желонкою [2, 3]. Однак вказані дослідження не дозволяють визначати сили опору ґрунту з урахуванням додаткових динамічних зусиль при зустрічі робочого органу з різними природними, та штучними перешкодами.

Аналіз досліджень [4–6] надає зробити висновки про те, що розрахункові математичні моделі процесу розробки ґрунту, розглядають окремі випадки а методи їх вирішення носять більш емпіричний характер. Так, наприклад, в роботі [1] розглядається вплив обертання на опір ґрунту з конусним наконечником.

Пошуку можливості інтенсифікації процесу глибокого різання ґрунтів та підвищити за рахунок цього ефективність роботи машини в цілому присвячено багато праць. Так, наприклад у роботі [2] розглядається вплив вібрації робочого органу на процеси різання ґрунту. Проблема зниження сил тертя на поверхні робочого органу розглянута в роботі [3]. Обґрунтування механіки процесів руйнування ґрунту шляхом його проколу і розширення конусними наконечниками запропоновано в дослідженнях [4]. В роботах [5] та [6] приведені дані результатів експерименталь-

них досліджень, що націлені на удосконалення робочого обладнання для проколу та продавлювання ґрунту.

Розглянуті процеси взаємодії землерийних робочих органів для формування горизонтально спрямованих комунікаційних свердловин в ґрунті надають загальні особливості процесів, але не можуть бути використані для на пряму бути використані при розрахунку ножових робочих органів приглибокому різанні ґрунтів.

У роботі [7] наводяться практичні та економічні переваги безтраншейних технологій та машин, які їх реалізують, які були взяті із досвіду роботи при безтраншейному прокладанні трубопроводів для подачі води, газу, каналізації, газу та нафти. Сучасні методи безтраншейного прокладання підземних комунікацій наведено у роботах [8, 9]. Методи горизонтального спрямованого буріння та напрямки їх вдосконалення представлені в роботі [10], а огляд технологій безперервної розробки нових установок детально описано в роботі [11]. Однак вказані методи не повноцінно визначають вплив на процес параметрів наконечника для різних фізико-механічних властивостей ґрунту.

Питання прокладання трубопроводів та інших видів інженерних комунікацій в різних умовах, в тому числі гірський та заболочений місцевості відкритим способом та без відривання траншеї розглянуті в роботі [14, 15]. Розглянуті технології виконання робіт, принципи підбору парка машин та механізмів, питання охорони праці при проведенні земляних робіт.

Визначення діючих навантажень та розрахунки на міцність не проводилося.

Результати наукових досліджень [16] показали можливість підвищення продуктивності створення траншей для прокладання інженерних комунікацій за рахунок використання нових менш енергоємних технологій розробки ґрунту робочим обладнанням багатоскребоквих траншейних екскаваторів.

Аналіз безтраншейних технологій для прокладання розподільних інженерних комунікацій таких, як: трубопроводів, кабелів та ліній зв'язку - показав, що для їх практичного застосування необхідно мати план для проведення робіт та їх виконання [17, 18]. Проведені розрахунки стосуються тільки питань визначення зусиль опору прокладанню комунікацій.

Результати досліджень технологій прокладання інженерних комунікацій, комплексної механізації виконання робіт, вибору парка машин наведено в роботі [19-21], але розрахунки

на міцність не враховують динамічних складових, що можуть виникати під час проведення робіт,

В роботі [22] систематизовано основні відомості про сучасні види досліджень робочих процесів машин і методи їх оптимізації.

В роботах [11-13] підтверджується, що швидкість переміщення ножових кабелеукладачів під час прокладання підземних комунікацій, як звичай знаходиться від 3 до 6 км/год. Згідно до стверджень, які наведені у роботах [22] процеси розробки ґрунту землерийно-транспортними машинами, які взаємодіють із робочим середовищем можна вважати статичними і у розрахунках її динамічність враховувати недоцільно при умові розробки однорідної маси ґрунтів.

Динамічна модель розпушувача з накопичувачем енергії [23] враховує співвідношення між властивостями механічної системи та параметрами руху машини та дозволила виявити вимоги до захисту оператора від дій вібраційного походження, проте випадкові навантаження не були розглянуті.

Мета та постановка задачі

Метою дослідження є розробка науково обґрунтованих рекомендацій щодо зниження навантаженості робочого обладнання ножового трубозаглиблювача для безтраншейного прокладання інженерних комунікацій в випадку зустрічі його робочого обладнання з різного типу перешкодами захованими під поверхнею ґрунту.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- визначити закономірності процесу глибокого різання ґрунтів які виникають при зіткненні ножового робочого обладнання з перешкодами та на основі їх уявлень розробити розрахункову схему і встановити математичну модель для визначення навантаження робочого обладнання трубозаглиблювача;

- провести аналіз результатів моделювання навантаження робочого обладнання та отримати практичні рекомендації до впровадження результатів дослідження

Розробка розрахункової схеми та встановлення математичної моделі для визначення навантаження робочого обладнання ножового трубозаглиблювача

Особливості ножового трубозаглиблювача та його робочого обладнання для укладання труб можна оцінити на прикладі конструкції машини, яка працює за методом заглиблення

та представлена у вигляді схеми на рис. 1.

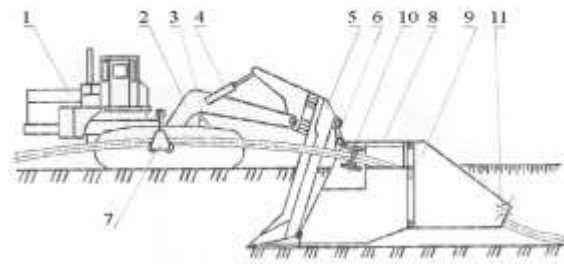


Рис.1. Конструктивна схема трубозаглиблювача на базі універсального шасі УШ-16

На базовому шасі 1 встановлена тягова рама підйому-опускання робочого органу 2. Підйом-опускання робочого органу здійснюється гідروциліндром 3, а зміна кута різання - гідроциліндром 4. До тягової рами шарнірно кріпиться ріжучий ніж 5 традиційної конструкції. До ножа за допомогою тяги 6 і нижнього шарніру кріпиться приймальна секція трубоукладаючого пристрою 8. До неї шарнірно кріпиться друга секція трубоукладаючого пристрою. Вкладена труба піднімається над ґрунтом підтримують роликми 7 і за допомогою напрямних роликів 10 заводиться в приймальну секцію. На останній секції встановлено притискний ролик 11, рис.3.6. Кріплення приймальної секції трубоукладаючого пристрою 8 до ножа за допомогою шарніра і верхньої тяги 6 зменшує коливання глибини укладається труби при русі шасі по нерівностях.

Конструктивні особливості машин, які працюють за принципом протаскування труби в ґрунті відрізняються тим, що ножова стійка робочого обладнання має меншу ширину і розрахована більше на формування свердловини в нижній її частині. При цьому додаткове зусилля додається до пристрою у вигляді циліндра з конічним наконечником у лобовій частині та захопленням труби з тильною.

Як було показано вище, розглянуті машини здійснюють прокладку комунікацій на глибину до 2 м. Для таких умов роботи найбільш представницькими за трудомісткістю розробки є ґрунти категорії II-III. За розрахунковий може бути прийнятий ґрунт III категорії з наступними фізико-механічними властивостями: зчеплення ґрунту - 0,06 МПа, кути внутрішнього та зовнішнього тертя відповідно 35° та 28°, модуль деформації - 10 МПа, об'ємна вага - 19 кН/м³, коефіцієнти бокового тиску та розпушення відповідно 0,55 і 1,3.

При виборі базової тягової машини та розрахунку тягового балансу сил для однорідного ґрунту головною складовою сил опору є різання ґрунту ножовим робочим органом, на які припадає при методі заглиблення до 90 % всього зусилля і при методі протягування до 70 %. Для зазначених умов зусилля різання ґрунту традиційним ножом може бути визначено за залежністю, кН:

$$P_p = 0.56[3.04H_K(14.8H_K^2 + 11.5H_K + 3b^2) + 31.2(H_K^2 + H_K b)] + 2.21H_K^2 + 1.68(H - H_K)bP, \quad (1)$$

де H, b - відповідно глибина різання та ширина ножа, м.

Критична глибина різання, м:

$$H_K = 2.32b. \quad (2)$$

Тиск ґрунту на лобову грань ножа, кПа:

$$P = 260h + 65,6b + 626, \quad (3)$$

де $h = 0,5(H + H_K)$,

Рівняння (1) справедливе для труб діаметром 75-225мм при прокладанні труб у ґрунтах III категорії міцності.

За величиною даного зусилля підбирається тяговий засіб для трубозаглиблювача. Згідно з проведеними розрахунками за вказаними залежностями встановлено, що для укладання труб діаметром до 90 мм може бути використаний трактор Т-130, діаметром до 180 мм – трактор Т-180, діаметром до 225мм – трактор Комацу Д-355, універсальне шасі. УШ-16 тощо.

Однак, якщо в ґрунтах можуть бути природні кам'янисті включення або будівельне сміття, то ці розрахунки можуть бути недостатньо коректними. Тому необхідно розглянути випадок зустрічі ножового робочого органу з перешкодою, які можуть перебувати у ґрунтового масиві. В якості припущень, що дозволять спростити моделювання навантаження робочого обладнання під час зустрічі з перешкодою, приймемо розгляд плоскої задачі при відсутності поперечного і поперечного ухилів.

Опорна поверхня прийнята такою, що недеформується, а тягове зусилля машини обмежено зчипними якостями рушіїв з опорною поверхнею.

Тягач і робоче обладнання, розглядаються як абсолютно жорсткі тіла, які мають зосереджені маси, прикладені в координатах центрів

тяжіння.

Розглянемо схему сил, діючих на прокладальник при різанні ґрунту заднім розпушувачем під час зустрічі з перешкодою, що знаходиться в зоні ріжучої кромки ножа, в якій враховуються: сила тяги трактора T , сила опору різання P , прикладена до ножа, маси трактора та робочого обладнання m_1, m_2 , жорсткість робочого обладнання c_1 та перешкоди c_2 . (рис. 2).

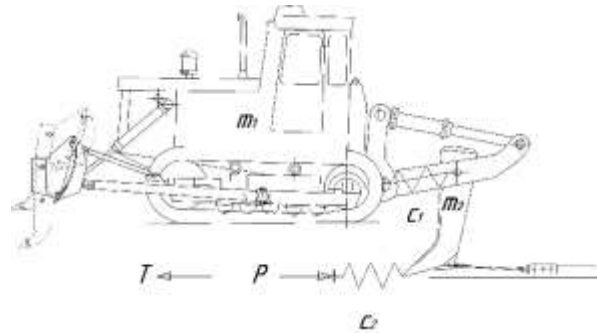


Рис. 2. Схема сил, що діють на розпушувач трубозаглиблювач при прокладанні комунікацій

Розрахункова схема машини під час зустрічі ножа робочого обладнання машини з перешкодою наведена на рис. 3.

В розрахунковому положенні, що розглядається, машина представлено у вигляді двомасової системи m_1, m_2 , що враховує горизонтальні переміщення.

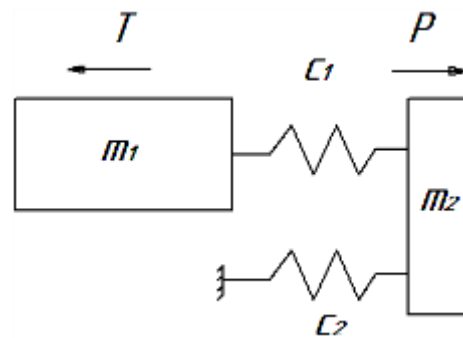


Рис. 3. Розрахункова схема машини під час зустрічі ножа з перешкодою

Пружні зв'язки системи характеризуються коефіцієнтами жорсткості робочого обладнання c_1 та перешкоди c_2 .

Математичну модель трубозаглиблювача при зустрічі ножа з перешкодою запишемо у вигляді:

$$m_1 \ddot{x}_1 = c_1(x_1 - x_2) - T, \quad (1)$$

$$m_2 \ddot{x}_2 = P_D - c_2(x_1 - x_2), \quad (2)$$

$$T = (m_1 + m_2)g(\varphi - f), \quad (3)$$

де φ – коефіцієнт зчеплення тягача з поверхнею; f – коефіцієнт опору переміщенню тягача; P_D – сила, що діє на ніж.

$$P_D = P_p + P_k + P_T + c_p x_2, \quad (4)$$

де P_p – сила опору різання ґрунту ножем перед зустрічєю з перешкодою [19], P_k – сила опору просуванню крота, кН, [20]; P_T – сила опору тертя труби в ґрунті, кН, [20]; c_p – приведена жорсткість робочого обладнання та перешкоди, кН/м:

$$P_p = kF \sin(\delta + \varphi) + [m_2 g + kF \cos(\delta + \varphi)]f, \quad (5)$$

де k – питомий опір різанню і деформації ґрунту, $k = 50 \dots 200$ кПа; F – площа перерізу прорізу δ – кут різання ґрунту ножем; φ – кут тертя ґрунту по сталі; f – коефіцієнт тертя ковзання ґрунту по сталі.

$$P_k = \frac{\pi D_k^2}{6} \sigma_1 \left(1 + \frac{tg \rho}{tg \alpha_1}\right), \quad (6)$$

де σ_1 – напруження, що виникає при русі тримача труби, кПа; α_1 – кут загострення тримача труби, град; D_k – діаметр тримача труби, м; ρ – кут внутрішнього тертя ґрунту, град.

$$P_T = a e^{\frac{12 f_{TP}}{n^2}} + f_{TP} \cdot G_T \left(1 + \frac{0.25}{f_{TP}^3 \cdot n^n}\right) \cdot L, \quad (7)$$

де a – постійний коефіцієнт; f_{TP} – коефіцієнт тертя матеріалу, з якого виготовлена труба, по ґрунту; L – довжина труби, м; $n = D_k / D_T \leq 1,5$ – відношення діаметра тримача до діаметра труби; G_T – вага 1 п.м. труби.

За умови розташування перешкоди в зоні ріжучої кромки ножа:

$$c_p = c_1 + c_2. \quad (8)$$

Аналіз результатів моделювання навантаження робочого обладнання

Моделювання навантаження металоконструкції робочого обладнання проводилася за допомогою створеної програми при різних жорсткостях перешкоди c_2 , які складали від 10000, 15000, 20000 кН/м, (рис. 4) при різних жорсткостях робочого обладнання, які складали 500, 1000, 2000 кН/м (рис. 5) та при різних швидкостях руху машини під час зустрічі з перешкодою, які складали 0.5, 1.0, 1.5 м/с (рис. 6).

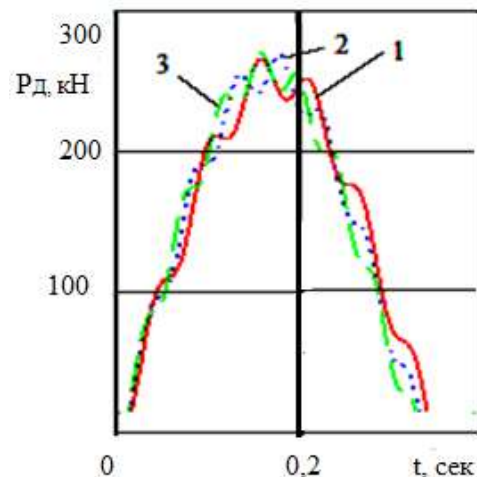


Рис. 4. Графік зміни зусиль, що діють в робочому обладнанні при різних жорсткостях перешкоди, кН: 1 – 10000, 2 – 15000, 3 – 20000.

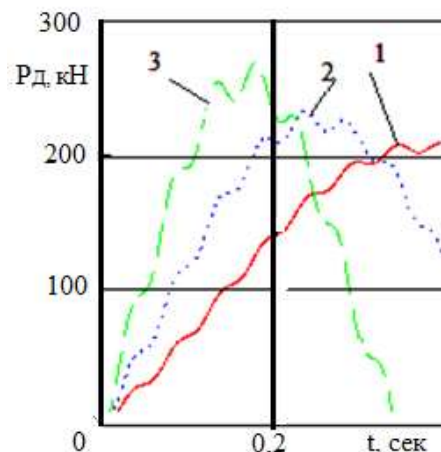


Рис. 5 Графік зміни зусиль при різних жорсткостях робочого обладнання, кН: 1 – 500, 2 – 1000, 3 – 2000.

Аналіз результатів розрахунків з використанням створеної математичної моделі показав, що динаміка зміни сил, діючих на робоче обладнання, має коливальний характер, а максимальні значення досягаються майже за однаковий проміжок часу в першому напівперіоді.

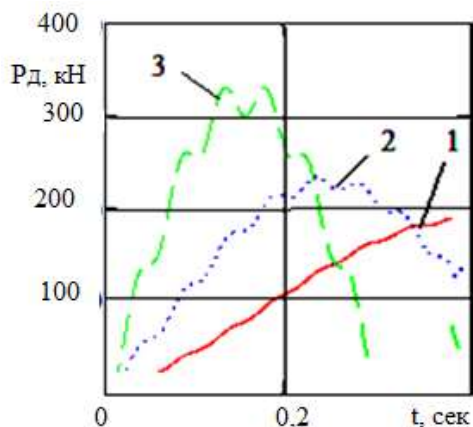


Рис. 6. Графік зміни зусиль при різних швидкостях руху машини під час зустрічі з перешкодою, м/с: 1 – 0,5; 2 – 1; 3 – 1,5.

Зростання жорсткості перешкоди, з якою зустрічається ніж, від 10000 кН/м до 20000 кН/м не призводить до суттєвого підвищення діючих навантажень, що можливо пояснити значною різницею в жорсткостях перешкоди та робочого обладнання $c_1 \ll c_2$.

Навпаки, зменшення жорсткості робочого обладнання з 2000 кН/м до 500 кН/м знижує максимальні діючі навантаження з 270 кН до 210 кН, або на 27%, що дозволяє підвищити довговічність металоконструкції.

Запровадити такі властивості доцільно використання додаткових пружних елементів в конструкції робочого обладнання.

Зменшення швидкості руху машини 1,5 м/с до 0,5 м/с під час зустрічі з перешкодою дозволяє суттєво зменшити зусилля, що виникають, з 330 кН до 190 кН, або на 43%.

Таким чином, з ціллю збереження робочого обладнання від пошкодження, при прокладанні комунікацій та трубопроводів з можливою наявністю замаскованих перешкод, треба дотримуватися руху машини на невеликих швидкостях.

Висновки

Проведеним аналізом технічної літератури було встановлено, що головним опором при розрахунку балансу сил роботи ножових трубозаглиблювачів є сила опор ґрунту його різанню ножовим робочим органом. Встановлено, що для її розрахунку з умови пересування машини з робочою швидкістю від 3 до 5 км/год в однорідних динамічне навантаження не носить суттєвого значення і процес можна вважати умовно статичним. Але при зустрічі з непередбачуваними включеннями,

які можуть виникати у ґрунтовому масиві отримані залежності потребують корекції з урахуванням виявлених особливостей.

На основі розробленої розрахункової схеми та математичної моделі машини для безтраншейного прокладання інженерних комунікацій проведено дослідження навантаження робочого обладнання під час зустрічі заднього ножа з перешкодою в процесі руху.

Проведений аналіз отриманих результатів показав, що зустріч заднього ножа робочого обладнання з перешкодами, жорсткість яких зростає, з 10000 кН/м до 20000 кН/м не призводить до суттєвого підвищення діючих навантажень, що можливо пояснити значною різницею в жорсткостях перешкоди та робочого обладнання.

Зменшити максимальні діючі навантаження з 270 кН до 210 кН, або на 27% можливо зменшуючи жорсткість робочого обладнання з 2000 кН/м до 500 кН/м за рахунок застосування додаткових пружних вузлів або елементів, які амортизують динамічні навантаження в металоконструкції заднього ножа машини.

Найбільш значного зменшення діючих зусиль можна досягти зниженням швидкості руху на ділянках можливого знаходження перешкод. Виконані дослідження показали, що зміна швидкості руху з 1,5 м/с до 0,5 м/с дозволяє зменшити зусилля, що виникають, з 330 кН до 190 кН, або на 43%.

Конфлікт інтересів

Автори заявляють, що немає конфлікту інтересів щодо публікації цієї статті.

Література

1. Ромакин, Н.Е., Лебедев С.В. (2011). Сопротивление внедрению конусного наконечника винтовой сваи в грунт. *Строительные и дорожные машины*, (2), 36–39. Romakin, N.E., Lebedev S.V. (2011). Soprotivlenie vnedreniyu konusnogo nakonechnika vintovoj svai v grunt [Resistance to the penetration of the conical tip of a screw pile into the ground] *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny*, (2), 36–39. [in Russian]
2. Земсков В.М. (2010) Определение параметров вибрационного инструмента для проходки горизонтальных скважин *Строительные и дорожные машины*. 9, 31–34. Zemskov V.M. (2010) Opredelenie parametrov vibracionnogo instrumenta dlya prohodki gorizontal'nyh skvazhin [Determining the parameters of a vibrating tool for horizontal well drilling] *Stroitel'nye i dorozhnye mashiny*, 9, 31–34. [in Russian]

3. Кованько В.В., Кованько О.В. (2008) Прокладання лінійно-протяжних об'єктів на новій технічній основі *Вісник інженерної академії України*. 3(4). 158–162. Kovanko V.V., Kovanko O.V. (2008) Prokladannia liniino-protyazhnykh ob'ektiv na novii tekhnichnii osnovi [Laying of linear-stretching facilities on a new technical basis] *Visnyk inzhenernoi akademii Ukrainy*. 3(4). 158–162. [in Ukrainian]
4. Пенчук В.А., Супонев В.М., Олексин В.И., Балесный С.П. (2015) Механика процессов прокола и расширения горизонтальных скважин *Механизация строительства*. 8, 40-42. Penchuk V.A., Suponev V.M., Oleksin V.I., Balesnyj S.P. (2015) Mekhanika processov prokola i rasshireniya gorizontaľnyh skvazhin. [Mechanics of the processes of puncture and expansion of horizontal wells] *Mekhanizaciya stroitel'stva*, 8, 40-42. [in Russian]
5. Олексин В.И. (2012) Комбинированный метод разработки горизонтальной скважины при бестраншейной прокладке коммуникаций *Вестник ХНАДУ*. (57), 207-213. Oleksin V.I. (2012) Kombinirovannyj metod razrabotki gorizontaľnoj skvazhiny pri bestranshejnoj prokladke kommunikacij. [Combined method of developing a horizontal well with trenchless laying of communications] *Vestnik HNADU*. 57, 207-213. [in Russian]
6. Кантович Л.И., Ружицкий В.П., Григорьев С.М., Григорьев А.С. (2008) Результаты исследования продавливающих установок для бестраншейной технологии строительства подземных инженерных коммуникаций *Горное оборудование и электротехника*. (2) 2-5. Kantovich L.I., Ruzhickij V.P., Grigor'ev S.M., Grigor'ev A.S. (2008) Rezul'taty issledovaniya prodavlivayushchih ustanovok dlya bestranshejnoj tekhnologii stroitel'stva podzemnyh inzhenernyh kommunikacij [The results of the study of punching installations for trenchless technology for the construction of underground utilities] *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika*. 2, 2-5. [in Russian]
7. Edited by Mohammad Najafi and Baosong Ma (2009) *Advances and Experiences with Pipelines and Trenchless Technology for Water, Sewer, Gas, and Oil Applications* Shanghai.
8. Najafi M. (2012) *Planning, Equipment, and Methods Trenchless Technology*.
9. Zhao J. (2014) Trenchless technology underground pipes *Machinery Industry Press*, 26-31.
10. Pridmore A, Pridmore A., Geisbush J. (2017) Developing a Successful Specification for Horizontal Directional Drilling *Lanning and Design*, 553-563.
11. Erez A. (2012) State-Of-The-Art-Review Of No-Dig Technologies for New Installations *American Society of Civil Engineers*. 8
12. Chehab A.G. Moor I.D. (2007) One-dimensional calculation for axial pullback for axial pullback distributions in pipes during directional drilling installations *Ottava Geo*, 1140-1154.
13. Huey D.P., Hair, J.D., McLeod K.B. (1996) Installation loading and stress analysis involved with pipelines installed in horizontal directional drilling *North American Society for Trenchless Technology*. 24.
14. Ткачук М.М., Филипчук В.Л., Якимчук Б.Н. (2013) *Будівництво зовнішніх мереж і монтаж санітарно-технічного обладнання будівель*. Навчальний. посібник. НУВГП. Tkachuk M.M., Fylypchuk V.L., Yakymchuk B.N. (2013) *Budivnytstvo zovnishnikh merezh i montazh sanitarno-tekhnichnoho obladdannia budivel*: [Construction of external networks and installation of sled, taro and technical equipment of buildings]. Navchalnyi. posibnyk. NUVHP. [in Ukrainian]
15. Шацкий А.С. (2007) О состоянии механизации трубопроводного строительства. *Трубопроводный транспорт*. Москва, 4. 10-14. SHackij A.S. O (2007) sostoyanii mekhanizacii truboprovodnogo stroitel'stva. [State of mechanization of pipeline construction] *Truboprovodnij transport*. Moscow. 4,10-14. [in Russian]
16. Kravets S., Suponyev V., Goponov A., Koval A., Kovalevskyi S. (2020) Determining efficient operating modes and sizes of blades for multi-scraper trench excavators *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. Kharkiv. 4 (106), 23-28.
17. Руднев В.К., Кравец С.В., Каслин Н.Д., Супонев В.Н. (2008) *Машины для бестраншейной прокладки подземных коммуникаций* Харьков: Rudnev V.K., Kravec S.V., Kaslin N.D., Suponev V.N. (2008) Mashiny dlya bestranshejnoj prokladki podzemnyh kommunikacij [Machines for trenchless laying of underground utilities]. Har'kov. [in Russian]
18. Супонев В.Н., Каслин Н.Д., Олексин В.И. (2008) Бестраншейные технологии прокладки распределительных инженерных коммуникаций *Научный вестник будівництва*. №499. С. 213-217. Suponev V.N., Kaslin N.D., Oleksin V.I. (2008) Bestranshejnye tekhnologii prokladki raspredelitel'nyh inzhenernyh kommunikacij [Trenchless technologies of laying distribution engineering communications] *Naukovij visnik budivnictva*. 499, 213-217. [in Russian]
19. Хмара Л.А., Кравец С.В., Скоблюк М.П. и др (2014). *Машины для земляных работ*: підручник Нмара L.A., Kravec' S.V., Skoblyuk M.P. i dr (2014). *Mashiny dlya zemlyanyh robot*. pidruch-nik. [Machines for earthworks] HNADU, [in Russian].
20. Кравец С.В., Кованько.В.В., Лук'янчук О.П. (2015) *Наукові основи створення землерійно-ярусних машин і підземно рухомих пристроїв*: Монографія НУВГП. Kravets. S.V., Kovanko.V.V., Lukianchuk O.P. (2015) Naukovi osnovy stvorennia zemleriino-yarusnykh mashyn i pidzemno rukhomykh prystroiv [Scientific basis of creation of earthmoving and leveling machines and underground mobile devices]: Monohrafiia. NUVHP [in Ukrainian]
21. Кравец С.В., Скоблюк М.П., Стіньо О.В., Зоря Р.В. (2018) *Критичноглибинні двојарусні ґрунто-розпушувачі*: Монографія / За загальною редакцією С.В. Кравця Рівне: НУВГП, 235 с. Kravets S.V, Skobliuk M.P., Stino O.V., Zoria R.V. (2018) Krytychnohlybnyni dvoiarusni hruntorozpushuvachi [Critically deep two-tier soil looseners]: Monohrafiia Rivne: NUVHP. [in Ukrainian]

22. Лук'янчук О.П., Тимейчук О.Ю. (2011) *Дослідження робочих процесів машин та методи їх оптимізації*: Навч. посібник. Рівне: НУБГП. Lukianchuk O.P., Tumeichuk O.Iu. (2011) *Doslidzhennia robochykh protsesiv mashyn ta metody yikh optymizatsii* [Study of working processes of machines and methods of their optimization]: Navch. posibnyk. NUVHP. [in Ukrainian]
23. Геллер Ю.А. (2010) Энергосберегающий класс машин, работающих по принципу замыкания динамических нагрузок на рыхлительном оборудовании *Ресурсовоспроизводящие, малоотходные и природоохранные технологии освоения недр*: сб. ст. IX Междунар. конф. М.; Котону [Бенин], С. 257-259. Geller YU.A. (2010) *Energoberegayushchij klass mashin, rabotayushchih po principu zamykaniya dinamicheskikh nagruzok na ryhlitel'nom oborudovanii* [Energy-saving class of machines working on the principle of closing dynamic loads on the ripping equipment] *Resursovosproizvodnyashchie, maloohodnye i prirodoohrannye tehnologii osvoeniya nedr*: sb. st. IX Mezhdunar. konf. M.; 257-259. [in Russian].

Супонев Володимир Миколайович¹, д.т.н., професор кафедри будівельних і дорожніх машин ім. А.М. Холодова, e-mail.: v-suponev@ukr.net, тел.: +38050-30-199-58, ORCID: 0000-0001-7404-6691

Рагулін Віталій Миколайович¹, к.т.н., доцент кафедри будівельних і дорожніх машин ім. А.М. Холодова, e-mail.: ragulinrvn@ukr.net, тел.: +38-050-545-80-70, ORCID: 0000-0003-2083-4937

Ковалевський Сергій Германович¹, к.т.н., доцент кафедри будівельних і дорожніх машин ім. А.М. Холодова, e-mail.: 2407180@ukr.net, тел.: +38097-24-071-80, ORCID: 0000-0002-6299-2223

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого, 25, м. Харків, Україна, 61002.

Studying the load of the working equipment of the knife pipe deepener for trenchless laying of engineering communications by the pulling method

Abstract. Problem. This article is devoted to the study of the load of the working equipment of the knife pipe boring machine for trenchless laying of linear underground engineering communications by pulling them through the soil. The implementation of this method requires significant traction efforts, which causes big stress in its working equipment. Understanding their meaning is important when designing these machines. **Goal.** The purpose of the research is to create calculation schemes and mathematical models that will allow you to get an idea of the load on the work equipment and provide it with

a qualitative assessment of its stress state. **Methodology.** In order to achieve the set goal, an idea of the dynamics of work processes of earthmoving and transport machines was put forward. **Results.** The obtained results made it possible to carry out an analysis of the loads on the working equipment of the pipe dredger, taking into account the processes that occur during the meeting of the knife working body with an obstacle in the process of movement. Namely, it was established that when the back knife of the working equipment meets with obstacles, the stiffness of which increases, from 10.000 to 20,000kN/m, it does not lead to a significant increase in the operating loads, which can be explained by a significant difference in the stiffness of the obstacle and the working equipment. It is possible to reduce the maximum operating loads from 270 to 210 kN, or by 27% by reducing the stiffness of the working equipment from 2000 to 500kN/m due to the use of additional elastic nodes or elements that absorb dynamic loads in the metal structure of the knife equipment of the machine. The most significant reduction in operating forces can be achieved by reducing the speed of movement in areas where obstacles are likely to be encountered. The conducted studies showed that changing the movement speed from 1.5 to 0.5 m/s allows to reduce the resulting forces from 330 to 190 kN, or by 43%. **Scientific novelty.** For the first time, calculation models were obtained for determining the dynamic load of the working equipment of knife pipe boring machines during its collision with obstacles. **Practical value.** The results of the research can be recommended for practical use in the design of knife-type pipe deepeners, which are intended for trenchless laying of underground communications.

Key words: knife pipe deepener, drawing method, horizontal well, linear extension networks, well, load, work equipment, engineering communications, calculation scheme, mathematical model, modes of operation.

Suponyev Vladimir¹, DSci (Engineering), Assoc. Prof. Department of Construction and Road-Building Machinery, e-mail: v-suponev@ukr.net, tel.: +38050-30-199-58, ORCID: 0000-0001-7404-6691

Ragulin Vitaliy¹, PhD, Assoc. Prof. Department of Construction and Road-Building Machinery, e-mail: ragulinrvn@ukr.net, tel.: +38-050-545-80-70, ORCID: 0000-0003-2083-4937

Kovalevskiy Serhii¹, PhD, Assoc. Prof. Department of Construction and Road-Building Machinery, e-mail: 2407180@ukr.net, tel.: +38097-24-071-80 ORCID: 0000-0002-6299-2223

¹Kharkov National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, 61002, Ukraine.