

ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕМАТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ РОБОТИ ТРАНШЕЙНОЇ МАШИНИ

Лисак С.І.,

Миколаївський будівельний коледж,

Сукач М.К.,

Київський національний університет будівництва і архітектури

Зуважено необхідність ремонту магістральних трубопроводів з метою підвищення надійності транспортування енергетичних ресурсів країнам Європи. Проведено кінематичний аналіз процесу роботи машини, яка повністю розкриває магістральні трубопроводи за периметром. Досліджено вплив конструктивно-кінематичних параметрів процесу роботи на параметри стружки ґрунту, що зрізається ланцюговим робочим органом.

Ключові слова: енергетичні ресурси, надійність транспортування, кінематичний аналіз, траншеєкопач, магістральний трубопровід.

Вступ. Надійність трубопровідного транспорту України є надзвичайно важливим показником стабільності забезпечення західноєвропейських країн паливо-енергетичними ресурсами. Зважаючи на те, що система магістральних трубопроводів найбільш активно будувалась у 1960...80 роках, переважна частина з них експлуатується із значним перевищенням строку служби. Внаслідок цього знижується експлуатаційна надійність трубопроводів, яка залежить від проведення своєчасного і якісного капітального ремонту.

На експлуатаційну надійність трубопроводів значно впливає корозія ізоляційного покриття, що виникає внаслідок інтенсивних процесів старіння. Це, зазвичай, призводить до частих аварій та зупинок при перекачуванні нафтопродуктів споживачам.

Актуальність. Нова технологія капітального ремонту передбачає відновлення працездатності магістралі без підйому труби із ґрунтового ложа по всій довжині ремонтованої ділянки [1]. Цей ремонт здійснюється шляхом застосування комплексу технологічно зв'язаних між собою спеціальних землерийних машин (рис. 1).

Однією з них є ланцюговий траншеєкопач, який здійснює розкривання трубопроводу у траншеї. Авторами запропоновано адаптоване робоче обладнання, яке дозволяє повністю розкривати трубопровід за його периметром, виключаючи при цьому машину для підкопування труби. Модернізація машини потребує належного наукового обґрунтування конструктивних та кінематичних параметрів робочого обладнання, а тому вирішення цих задач є актуальним.

Метою роботи є кінематичний аналіз процесу роботи траншеєкопача, який здійснює розкривання з одночасним підкопуванням магістрального трубопроводу.

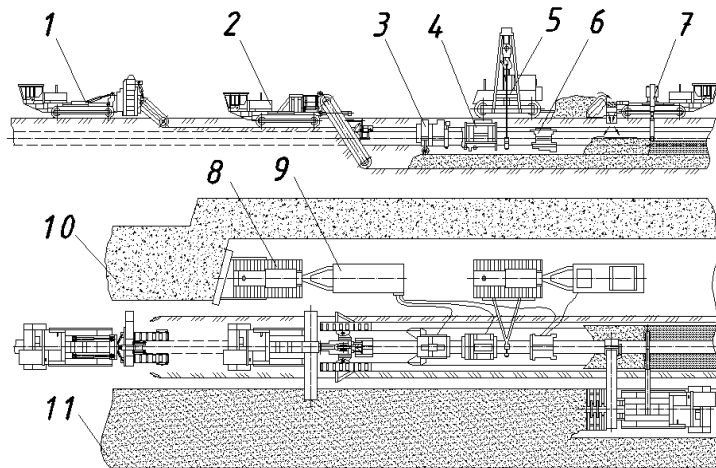


Рисунок 1. Технологія капітального ремонту трубопроводів: 1 – машина пошарової розробки ґрунту; 2 – машина для розкриття трубопроводу; 3 – машина для підкопування трубопроводу; 4 – машина зняття ізоляції; 5 – трубоукладач; 6 – машина нанесення ізоляції; 7 – машина підбивання ґрунту; 8 – бульдозер; 9 – дизель-електростанція; 10 – родючий ґрунт; 11 – мінеральний ґрунт

Основні результати роботи. Запропонована авторами конструкція траншеєкопача (рис. 2) складається із базової машини 1, яка переміщується вздовж трубопроводу 2 та робочого обладнання 3 [2]. Розробка та переміщення ґрунту здійснюється ланцюговими секціями 4, 5. Вилучений із траншеї ґрунт евакуюється конвеєром 6. Керування обладнанням виконується гідравлічними циліндрами 7, 8, 9. Контролювання машини по трасі прокладання трубопроводу здійснюється слідкуючим засобом 10.

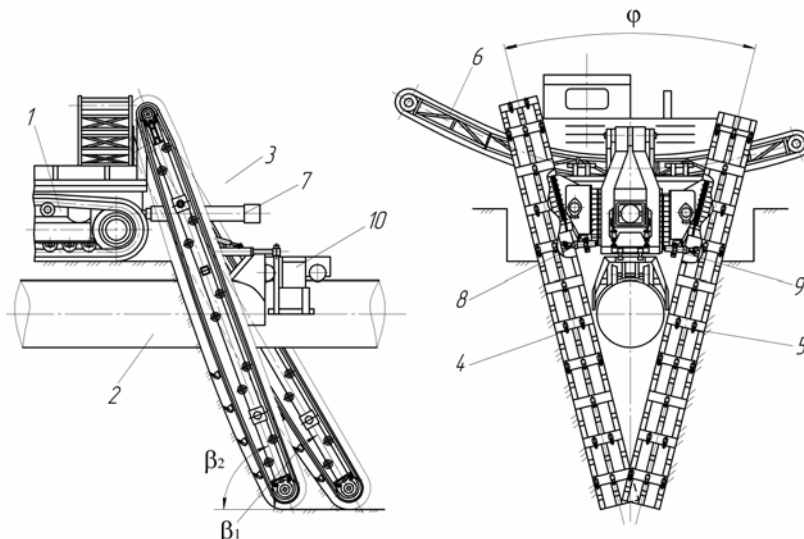


Рисунок 2. Ланцюговий траншеєкопач: 1 – базова машина; 2 – трубопровід; 3 – робоче обладнання; 4, 5 – ланцюгові секції; 6 – конвеєр; 7-9 – гідроциліндри; 10 – контролюючий пристрій

У режимі розкривання трубопроводу двосекційним ланцюговим траншеєкопачем робочий процес представляє собою поєднання двох рухів: рух ланцюга із закріпленим на ньому різальним інструментом зі швидкістю v_L ; поступальний рух базової машини вздовж траси прокладання трубопроводу при копанні траншеї зі швидкістю v_M .

Отже, різальний інструмент здійснює складний рух: разом із ланцюгом він переміщується по відношенню до машини і разом з машиною – по відношенню до ґрунту (забою) [3].

1. Розглянемо кінематику руху робочого органа машини-прототипу, при паралельно встановлених одна до одної ланцюгових секціях (без підкопування труби).

При виконанні робіт з розкривання підземного трубопроводу з паралельно встановленими одна до одної ланцюговими секціями машина працює в режимі екскаватора поздовжнього копання, коли площина руху ланцюгів робочого органу знаходиться в одній площині (або паралельній) з рухом базової машини.

Кінематична особливість полягає у відхиленні траєкторії руху різального елемента на кут α (рис. 3, 4), який менше кута нахилу рами робочого органу до забою β [4]:
$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{v_L \sin \beta}{v_L \cos \beta + v_M}.$$

Аналіз цієї залежності показує, що кут відхилення траєкторії різання в основному залежить від кута встановлення рами робочого органу та швидкості тягового ланцюга, оскільки швидкість переміщення машини є величиною відносно малою.

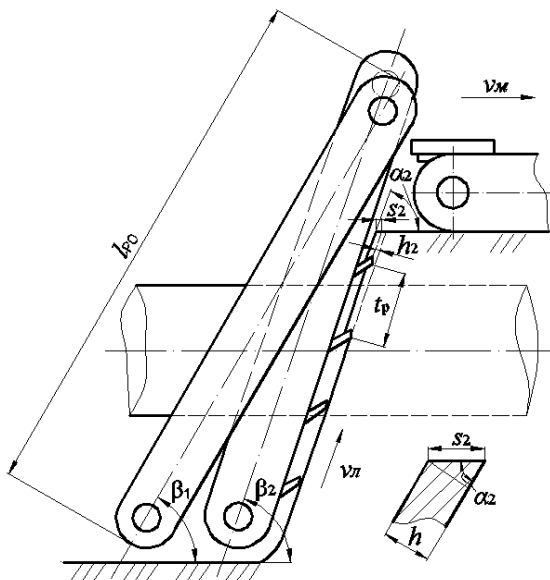


Рисунок 3. Схема руху різців ланцюгових секцій робочого органу

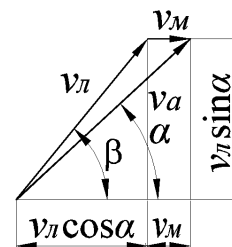


Рисунок 4. План швидкостей ланцюгового робочого органу при паралельно встановлених секціях

Оскільки ланцюгові секції встановлюються під різними кутами до дна забою задля перекривання осі траншеї під час підкопування труби (рис. 2), то відповідно кути відхилення траєкторії різального інструменту для кожної секції буде різним [5]. Позначимо кут нахилу до забою для однієї секції (наприклад, правої) β_1 (зазвичай він становить близько 60°). Тоді з урахуванням цього, відхилення траєкторії руху різального інструменту для правої секції буде складати $\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{v_{Л1} \sin \beta_1}{v_{Л1} \cos \beta_1 + v_M}$, де $v_{Л1}$ – швидкість руху ланцюга правої секції робочого органа; v_M – швидкість переміщення базової машини, або $\alpha_1 = \operatorname{arctg} \frac{v_{Л1} \sin \beta_1}{v_{Л1} \cos \beta_1 + v_M}$.

Для лівої секції із урахуванням того, що її встановлено під кутом β_2 буде

$$\operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{v_{Л2} \sin \beta_2}{v_{Л2} \cos \beta_2 + v_M}, \text{ або } \alpha_2 = \operatorname{arctg} \frac{v_{Л2} \sin \beta_2}{v_{Л2} \cos \beta_2 + v_M},$$

де $v_{Л2}$ – швидкість руху ланцюга лівої секції робочого органа.

Отримані формули пов'язують швидкість переміщення базової машини v_M і кінематичні параметри руху відповідних ланцюгових секцій.

Параметрами стружки, яка знімається різальним інструментом під час роботи машини, є її ширина та товщина. Із урахуванням кінематичних параметрів руху машини (рис. 3), товщина стружки h_2 для лівої секції робочого органа $h_2 = s_2 \sin \alpha_2$, де s_2 – подача на одну балочку із різцями лівої секції (або відстань, яку проходить траншеєкопач за час виходу із забою двох сусідніх балочок). Аналогічно визначимо товщину стружки h_1 для правої секції робочого органа: $h_1 = s_1 \sin \alpha_1$, де s_1 – подача на одну балочку із різцями правої секції.

Беручи до уваги те, що $v_M \ll v_{Л}$, можна вважати, що кути $\beta \approx \alpha$, тобто швидкість різання ґрунту приблизно відповідає швидкості руху ланцюга відповідної секції робочого органа. Тому можна записати $h_1 = s_1 \sin \beta_1$,

$$h_2 = s_2 \sin \beta_2. \text{ Подача різців для лівої та правої секцій складатиме } s_1 = t_P \frac{v_M}{v_{Л1}},$$

$s_2 = t_P \frac{v_M}{v_{Л2}}$, де t_P – крок розстановки різців у лінії різання. З урахуванням

цих формул, товщина стружки $h_1 = t_P \frac{v_M}{v_{Л1}} \sin \beta_1$, $h_2 = t_P \frac{v_M}{v_{Л2}} \sin \beta_2$. Із цих

формул випливає, що змінюючи параметри руху базової машини v_M та ланцюга $v_{Л}$, можна регулювати товщину стружки, що зрізається h при постійних конструктивних та кінематичних параметрах робочого органа t_P і β .

2. Розглянемо тепер кінематику руху робочого органу при підкопуванні трубопроводу, тобто коли ланцюгові секції встановлюються одна до одної під гострим кутом φ (рис. 5). При цьому кінематика процесу змінюється, що впливає на хід роботи машини в цілому. Векторне рівняння абсолютної швидкості v_a має вигляд (рис. 4) $\bar{v}_a = \bar{v}_L + \bar{v}_M$, де \bar{v}_L – вектор швидкості руху ланцюга відповідної секції робочого органу; \bar{v}_M – вектор швидкості переміщення базової машини при розробці траншеї.

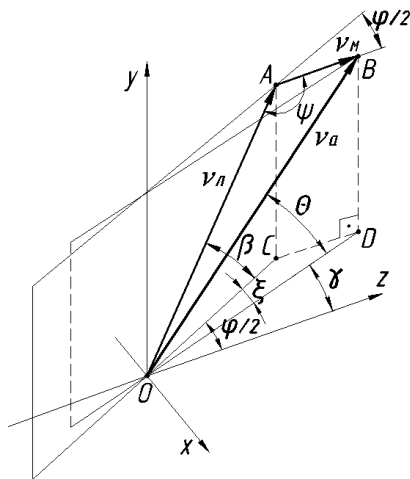


Рисунок 5. План швидкостей ланцюгового робочого органу при підкопуванні трубопроводу

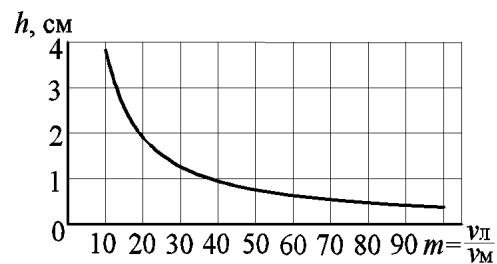


Рисунок 6. Залежність товщини стружки від конструктивно-кінематичних параметрів процесу роботи

Для прикладу розглянемо кінематику руху лівої ланцюгової секції робочого органу. Швидкість ланцюгів v_L (а отже, і площина руху) буде відхилитися від площини руху базової машини yz на кут $\varphi/2$, який забезпечує перекривання осі траншеї нижніми частинами секцій робочого органу. Швидкість v_L спрямовано під кутом β до площини xz (площини дна забою), який дорівнює куту встановлення рами ланцюгової секції робочого органу. Площина вектора швидкості машини v_M проходить паралельно площині (осі) руху тягача yz . Вектор v_a знаходиться у площині, що відхиляється від площини руху тягача на кут γ і знаходиться під кутом θ до горизонтальної площини xz (площини забою).

Визначимо параметри v_a , θ , γ , для чого розглянемо трикутник ΔOAB , в якому сторони $OA = v_L$, $AB = v_M$, кут між ними $\psi = 180^\circ - \varphi/2$. Згідно з теоремою косинусів $v_a = \sqrt{v_L^2 + v_M^2 - 2v_L v_M \cos\left(180^\circ - \frac{\varphi}{2}\right)}$. У трикутнику

$$\Delta BDO: \sin \theta = \frac{BD}{OB}, \text{ де } BD = AC = OA \sin \beta.$$

Ураховуючи, що $OB = v_a$, $OA = v_L$, отримаємо $\sin \theta = \frac{v_a}{v_L \sin \beta}$, або

$$\theta = \arcsin \frac{\sqrt{v_L^2 + v_M^2 - 2v_L v_M \cos\left(180^\circ - \frac{\varphi}{2}\right)}}{v_L \sin \beta}.$$

Отримана залежність зв'язує параметри швидкостей руху робочого органу v_C , базової машини v_M і кутів встановлення рами ланцюгових секцій до горизонтальної площини забою β та її повороту $\frac{\varphi}{2}$ для підкопування трубопроводу. Кут γ відхилення площини абсолютної швидкості різання ґрунту v_a від площини руху тягача yz згідно з рисунком 5 $\gamma = \frac{\varphi}{2} - \xi$, де ξ – кут між горизонтальними проекціями абсолютної швидкості різання v_a та швидкості руху ланцюга v_L . У трикутнику $\triangle COD$: сторони $OC = OA \cos \beta$, $OD = OB \cos \theta$, $CD = AB = v_M$. Замінивши відповідні сторони трикутника $\triangle COD$ через горизонтальні проекції швидкостей, отримаємо $\cos \xi = \frac{v_M^2 - v_a^2 \cos^2 \theta - v_L^2 \cos^2 \beta}{2v_L \cos \beta v_a \cos \theta}$, або $\xi = \arccos \frac{v_M^2 - v_a^2 \cos^2 \theta - v_L^2 \cos^2 \beta}{2v_L v_a \cos \beta \cos \theta}$.

Тоді кут $\gamma = \frac{\varphi}{2} - \arccos \frac{v_M^2 - v_a^2 \cos^2 \theta - v_L^2 \cos^2 \beta}{2v_L v_a \cos \beta \cos \theta}$. Із останніх

формул випливає, що товщина стружки, яка зрізується ланцюговими секціями при підкопуванні трубопроводу, має вигляд $h_1 = t_p \frac{v_M}{v_{L1}} \sin \theta_1$,

$h_2 = t_p \frac{v_M}{v_{L2}} \sin \theta_2$. Швидкість руху ланцюга траншейних екскаваторів

зазвичай дорівнює $v_L = 0,4 \dots 2$ м/с, а швидкість переміщення машини при розкриванні трубопроводу складає $v_M = 80$ м/год ($v_M = 0,022$ м/с). Графік на рис. 6 показує залежність товщини стружки ґрунту, яка зрізається, від конструктивно-кінематичних параметрів процесу. При співвідношенні $m = 10 \dots 50$ спостерігається стрімке зменшення товщини стружки, а при співвідношенні швидкостей $m = 60 \dots 100$ це значення не має суттєвої зміни параметру h . Тому в цьому діапазоні зміна швидкості ланцюга недоцільна.

Висновки. У результаті кінематичного аналізу процесу роботи машини встановлено, що траєкторія руху різців α відхиляється від кута встановлення рами β робочого обладнання. Отримано залежності, які пов'язують геометричні та кінематичні параметри процесу розробки ґрунту, а саме: товщину стружки h , кути встановлення секцій до забою ξ , γ , φ , крок розташування різців t_p та ін. На основі цих залежностей можна визначати та регулювати швидкості руху ланцюга v_L і машини v_M для забезпечення необхідної товщини стружки ґрунту h , що знімається ланцюговими секціями.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Мусійко В.Д., Кузьмінець М.П. Проблеми створення технології та техніки для виконання земляних робіт під час капітального ремонту промислових трубопровідних магістралей // Гірн., будів., дор. та меліор. машини: всеукр. міжвід. зб. наук. праць. – К.: КНУБА. – 2007. – Вип. 70. – С. 56–64.
2. Патент України №37784, Е 02 F5/00. Землерийне обладнання траншеєкопача для розкривання-заглиблення трубопроводів / Сукач М.К., Лисак С.І. (Україна). – и 2008 08334; заявл. 20.06.2008; опубл. 10.12.2008, Бюл. № 23.
3. Гарбузов З.Е., Донской В.М. Экскаваторы непрерывного действия: учеб. для СПТУ. – 3-е изд., перераб и доп. – М.: Высш. шк., 1987. – 288 с.
4. Землеройные машины непрерывного действия. Конструкции и расчеты / [Гарбузов З.Е. и др.]; под общ. ред. Л.Е. Подборского. – М.: Машиностроение, 1965. – 234 с.
5. Сукач М.К., Лисак С.І. Підвищення ефективності робочого обладнання машини для розкривання трубопроводів // Гірн., будів., дор. та меліор. машини: Всеукр. міжвід. зб. наук. праць. – К.: КНУБА. – 2008. – Вип. 71. – С. 3–9.

Лысак С.И., Сукач М.К. ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА РАБОТЫ ТРАНШЕЙНОЙ МАШИНЫ

Отмечается необходимость ремонта магистральных трубопроводов с целью повышения надежности транспортировки энергетических ресурсов странам Европы. Проведен кинематический анализ процесса работы машины, которая полностью раскрывает магистральные трубопроводы по периметру. Исследовано влияние конструктивно-кинематических параметров процесса работы на параметры стружки грунта, которая срезается цепным рабочим органом.

Ключевые слова: энергетические ресурсы, надежность транспортировки, кинематический анализ, траншеекопатель, магистральный трубопровод.

Lysak S.I., Sukach M.K. INVESTIGATION OF KINEMATIC PARAMETERS IN THE PROCESS OF TRENCHING MACHINE OPERATION

A need is noted to repair main pipelines to increase the reliability of the energy resources transport to Europe. A kinematic analysis of the process of a trenching machine operation that fully exposes the pipelines along their perimeter is carried out. Effect of structurally-kinematic parameters of the process of operation on the parameters of ground layers, which are being cut by a chain working body, is studied.

Key words: the energy resources, reliability of transport, kinematic analysis, trenching machine, main pipeline.