

ДИНАМІЧНЕ РУЙНУВАННЯ ҐРУНТУ ПІД ЧАС ЗАГЛИБЛЕННЯ ЗУБА РОЗПУШНИКА

АНОТАЦІЯ. Визначені траєкторії руху зуба розпушника під час заглиблення у ґрунт при імпульсній подачі гідrorідини до різних гідроциліндрів навіски та визначено найменш енергоємний режим. Визначені зусилля руйнування мерзлого ґрунту різанням та відривом його елементів від масиву. Порівняльний аналіз цих значень показав, що руйнування ґрунту різанням з відривом є на тридцять відсотків менш енергоємним процесом, ніж руйнування тільки різанням.

Ключові слова: землерийна машина, розпушувальне обладнання, навіска робочого органа, імпульсна подача гідrorідини, траєкторія руху, зуб розпушника, зусилля відриву.

АННОТАЦИЯ. Определены траектории движения зуба рыхлителя при внедрении в ґрунт при импульсной подаче гидрожидкости к разным гидроцилиндрам навески и определен менее энергоемный режим. Рассчитаны усилия разрушения мерзлого ґрунта резанием и отрывом его элементов от массива. Сравнительный анализ этих значений показал, что разрушение ґрунта резанием с отрывом является на тридцать процентов менее энергоемным процессом, чем разрушение только резанием.

Ключевые слова: землеройная машина, рыхлительное оборудование, навеска рабочего органа, импульсная подача гидрожидкости, траектория движения, зуб рыхлителя, усилия отрыва.

SUMMARY. in this article was Determined the trajectory of the ripper tooth at the deepen in the soil with feed of impulses of the Hydraulic liquid to the hydraulic cylinders of the hitch and was found by the least energy-intensive. Was defined the efforts of the separation of frozen soil from the array. The comparative analysis of their values have shown for us that the destruction of soil by cutting with the separation is less energy-intensive than the destruction without it on 30 percents.

Key words: digging machine, ripping equipment, the hinge of the working body, feed of impulses of the Hydraulic liquid, trajectory, the ripper tooth, the effort of the separation.

Вступ

Найбільш важкими та трудомісткими роботами на будівництві є земляні, особливо - розробка мерзлих ґрунтів.

Висока механічна міцність мерзлих ґрунтів у сотні разів перевищує їхню міцність у не мерзлому стані, що надає змоги безпосередньо розробляти мерзлі ґрунти звичайними землерийними машинами, що і визначає складність та високу енергоємність їх розробки.

Одним із способів руйнування мерзлих та міцних ґрунтів механічним способом є розробка їх розпушниками. Проте, в конструкціях навісок розпушників гідроциліндри зміни кута розпушення знаходяться безпосередньо близько до робочого органа та сприймають значні динамічні навантаження у процесі розпушення, що негативно впливає на їх працездатність та довговічність. Тому при розробці навіски розпуш-

ника необхідно проводити розрахунок робочого органа та системи підвіски на міцність та довговічність, а також визначити необхідні зусилля залежно від заглиблення робочого органа, режимів роботи та фізико-механічних властивостей ґрунту. При розрахунку на міцність за основу приймають положення машини, за яких виникають найбільші навантаження [1]:

Перше розрахункове положення – за відомим зусиллям маси трактора G_T та розпушувального обладнання G_p визначають максимально можливе зусилля заглиблення зуба P_3 із умови підняття машини відносно точки А (рис. 1). Умова заглиблення зуба у ґрунт (P_3) із [1] буде:

$$P_3 > Fk'\sigma_0,$$

де k^l - коефіцієнт напруження; F - максимальна площа перерізу тієї частини зуба,

яка заглиблюється у ґрунт; σ_0 - руйнуюче навантаження.

Друге розрахункове положення – визначення умов виглиблення зуба за максимальним його заглибленням.

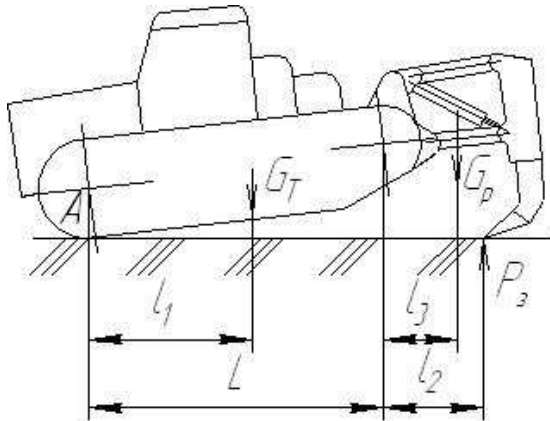


Рис. 1. Схема для визначення сили заглиблення P_3 зуба розпушника

Метою статті є визначення траєкторії руху зуба розпушника під час заглиблення його в ґрунт залежно від імпульсної подачі гідрорідини до різних гідроциліндрів навіски, а також розрахунок зусиль під час різання та відривання ґрунту від масиву із визначенням найменш енергоємного режиму.

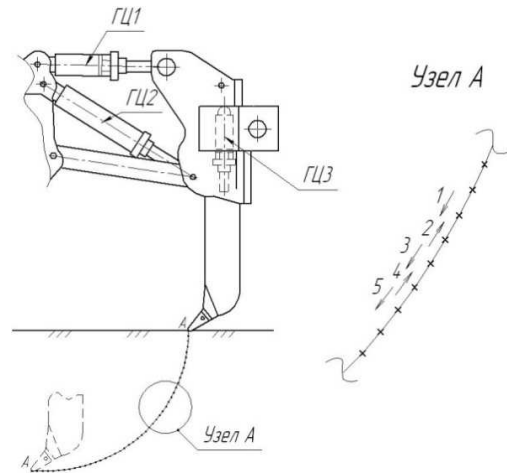
Виклад основного матеріалу

Опір руйнуванню ґрунту є одним з основних видів опорів, оскільки він, зазвичай, більше за інші види опорів, тому його зменшення в робочому процесі, в основному, визначають закони руху машини. Під опором руйнуванню розуміють сумарну силу опору ґрунту, яка виникає на робочому органі під час розробки ґрунту та спрямована в інший бік від руху базової машини.

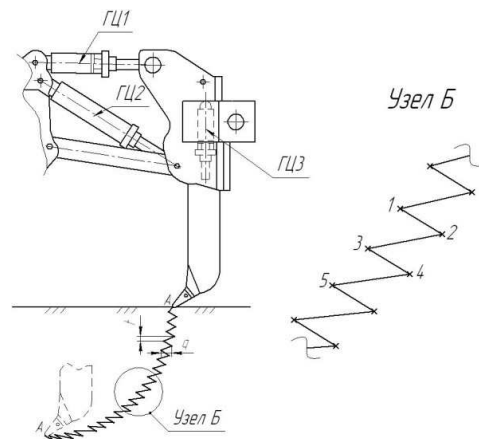
Закономірності зростання опорів руйнуванню однорідних ґрунтів залежать від траєкторії робочого органа землерийної машини. При визначенні виникаючих динамічних навантажень необхідно урахувати процес занурення робочого органа, коли навантаження зростають найбільш інтенсивно [2].

Для зменшення енергоємності заглиблення зуба розпушника в ґрунт, а також для зменшення навантажень на ланки навіски,

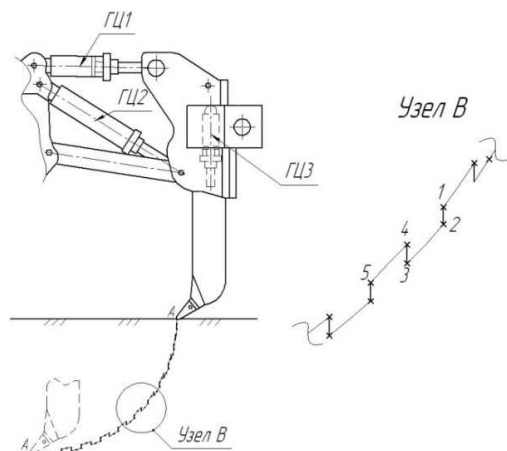
запропоновано імпульсну подачу гідрорідини до гідроциліндрів навіски розпушника та залежно від яких були визначені траєкторії руху зуба розпушника (рис. 2).



а) при безімпульсному режимі та при імпульсній подачі рідини до ГЦ2



б) при імпульсній подачі рідини до ГЦ1



в) траєкторія заглиблення зуба при імпульсній подачі рідини до ГЦ3

Рис. 2. Траєкторії заглиблення зуба

Аналіз траєкторії руху робочого органа при імпульсній подачі гідрорідини в різні гідроциліндри навіски показав, що ГЦ2 (рис. 2а) зуб розпушника відтворює зворотно-поступальний рух, водночас відтворюється різання ґрунту ріжучою кромкою та зминання ґрунту площадкою зношення зуба; при імпульсній подачі до ГЦ1 (рис. 2б) траєкторія руху робочої кромки має зигзагоподібний характер і основний опір ґрунту знову визначається його зминанням, що значно підвищує енергоємність його розробки; при імпульсній подачі рідини у ГЦ3 траєкторія руху робочої кромки має ступінчатий характер, при цьому ґрунт руйнується відривом елементів стружки від масиву, що згідно [4] має найменш енергоємний характер.

Для визначення найменш енергоємного режиму руйнування ґрунтів при зануренні робочого органа були визначені сили руйнування робочого середовища за різних способах його занурення.

Визначення процесу різання мерзлого ґрунту.

Сила блокованого різання затупленого або зношеного ножа складається із чотирьох складових [2]:

- сили подолання лобового опору ножа P_B , яка пропорційна площі лобової частини, тобто ширині b і глибині h зрізу і залежить від кута різання, а також міцності ґрунту;
- сили руйнування ґрунту у бокових розширеннях прорізу $P_{бок}$, яка пропорційна площі їх поперечного перерізу, залежить від міцності ґрунту і не залежить від ширини, а також кута різання ножа;
- сили бокового зрізу $P_{бок.зр}$, яка пропорційна товщині зрізу, залежить від міцності ґрунту і практично не залежить від кута різання, а також ширини зрізу;
- додаткової сили від затуплення або зношування $P_{зн}$, яка пропорційна радіусу затуплення або ширині площадки зношування, і має тенденцію зростання із збільшенням глибини різання [3], тобто

$$P = P_B + P_{бок} + P_{бок.зр} + P_{зн}. \quad (1)$$

Сили P_B і $P_{бок}$ за Ю.О. Ветровим визначаються через питомі сили p_B і $p_{бок}$ руйнування ґрунту і площі лобової і бокової частин поперечного перерізу прорізу F_B і $F_{бок}$. Сили $P_{бок.зр}$ і $P_{зн}$ визначені як добуток питомих сил $p_{бок.зр}$ і $p_{зн}$ зрізування ґрунту боковими ребрами ножа і від затуплення або зношування ножа на сумарну довжину відповідно лінії бокового зрізу ґрунту або ширини площадки затуплення або зношування [3]:

$$P_B = p_B F_B, \quad (2)$$

$$\text{де } F_B = bh_{бок}.$$

$$P_{бок} = p_{бок} F_{бок}, \quad (3)$$

$$\text{де } F_{бок} = k_{бок}^2 h^2 \text{ctg}\gamma.$$

$$P_{бок.зр} = p_{бок.зр} L_{бок.зр}, \quad (4)$$

$$\text{де } L_{бок.зр} = 2h(1 - k_{бок}).$$

$$P_{зн} = p_{зн} b,$$

де $k_{бок}$ - коефіцієнт заглиблення частини прорізу, що розширяється ($k_{бок} = 0,8 \dots 0,95$); γ - кут зсуву ґрунту у площині поперечного перерізу.

Якщо позначити величину питомої сили різання у лобовій частині прорізу для кута різання ножа 45° через m_B і, якщо ввести коефіцієнт Φ_p , який враховує зміну цієї сили від кута різання, то питому силу p_B для різних кутів різання можна визначити за формулою [5]:

$$P_B = \Phi_p m_B.$$

Виразивши:

$$m_{бок} = \frac{p_{бок} k_{бок}^2 \text{ctg}\gamma}{2},$$

$$m_{бок.зр.} = p_{бок.зр.} (1 - k_{бок}),$$

то отримаємо [3]:

$$p_{бок} = 2m_{бок} h^2,$$

$$p_{бок.зр.} = 2m_{бок.зр.} h,$$

де $m_{бок}$, $m_{бок.зр.}$ - коефіцієнти, що характеризують питому силу руйнування ґрунту відповідно в бокових частинах прорізу та бокового зрізу одним із бокових ребер ножа.

Додаткова сила руйнування від затуплення або зношування дорівнює [3]:

$$P_{зн} = P_B \eta_{зн} = m_B b h \eta_{зн}, \quad (5)$$

де $\eta_{ст}$ - коефіцієнт, що враховує затуплення або зношування робочого органа.

Підставивши значення (2), (3), (4), (5) у формулу сили різання (1), отримуємо:

$$P = \varphi_p m_b b h + 2m_{бок} h^2 + 2m_{бок.зр} h + \eta_{зн} m_b b h.$$

Визначаємо зусилля різання мерзлого ґрунту за умов [3]:

$$b = 0,11\text{м}; \quad h = 0,3\text{м}; \quad b_1 = 0,12\text{м}; \quad \varphi = \alpha = 38^\circ;$$

$$m_{бок} = 0,118\text{МПа}; \quad m_{бок.зр} = 34,03\text{кН/м};$$

$$m_b = 0,92\text{МПа}; \quad k_{бок} = 0,8.$$

$$P = \varphi_p m_b b h + 2m_{бок} h^2 + 2m_{бок.зр} h + \eta_{зн} m_b b h = 20469,6\text{Н} = 20,5\text{кН}.$$

Визначення процесу відриву мерзлого ґрунту від масиву.

Процес деформації та руйнування мерзлого ґрунту під час відриву від масиву без підготування забою відрізняється значною складністю.

Зусилля заглиблення зуба у ґрунт знаходимо із залежності [4]:

$$P_b = P_0 y^\mu,$$

де P_b - опір ґрунту вдавлюванню; P_0 - коефіцієнт опору ґрунту вдавлюванню; μ - показник степеня, що залежить від процесу вдавлювання та фізико-механічних властивостей ґрунту [4].

У процесі вдавлювання зуба розпушника (рис. 3) на елементарну площадку, ширина якої дорівнює ширині зуба b , на відстані y від нижньої плоскості зуба та довжиною dx в напрямку зминання ґрунту, діє його реакція:

$$dP = P_0 y^\mu b dx.$$

Роботу на зминання шару товщиною dy визначаємо:

$$dA_1 = dP dy = b P_0 y^\mu dy dx.$$

Роботу зминання ґрунту можна виразити інтегралом:

$$A_1 = \int_0^x \int_0^{xtg\alpha} dA_1.$$

Проінтегрувавши та підставивши границі інтегрування до формули (6), отримуємо:

$$A_1 = \frac{b P_0 b_1^{\mu+2} \text{tg}^{\mu+1} \alpha}{(\mu+1)(\mu+2)}. \quad (6)$$

Роботу на тертя можна визначити наступним чином.

Нормальна реакція шару ґрунту товщиною dX на поверхні зуба визначиться як:

$$dN = b P_0 x^\mu \text{tg}^\mu \alpha \frac{dx}{\cos \alpha}.$$

Сила тертя на цій площадці:

$$dF = dN f.$$

Робота цієї сили при переміщенні зуба у ґрунт на величину b_1 :

$$dA_2 = dF \cos \alpha dx.$$

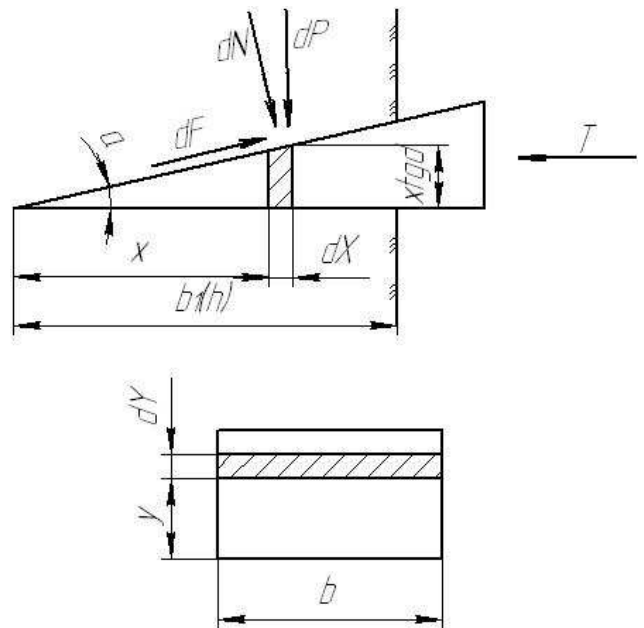


Рис. 3. Схема для визначення зусилля відриву ґрунту від масиву

Робота на визначення сил тертя при заглибленні клина в масив ґрунту:

$$A_2 = \int_0^x \int_0^{b_1} dA_2.$$

Проінтегрувавши та підставивши границі інтегрування у формулу (7), отримуємо:

$$A_2 = \frac{b P_0 f \text{tg}^\mu \alpha b_1^{\mu+2}}{(\mu+1)(\mu+2)}. \quad (7)$$

Підсумовуючи роботу на зминання ґрунту (6) та роботу сил тертя (7) отримуємо повну роботу заглиблення зуба у ґрунт [4]:

$$A = \frac{b P_0 \text{tg}^\mu \alpha b_1^{\mu+2}}{(\mu+1)(\mu+2)} (\text{tg} \alpha + f).$$

Так як зусилля заглиблення $T = \frac{dA}{db_1}$, то

$$A = \frac{2bP_0 \operatorname{tg}^{\mu} \alpha b_1^{\mu+2}}{(\mu+1)} (\operatorname{tg} \alpha + f),$$

де b - ширина зуба; P_0 - коефіцієнт опору ґрунту вдавлюванню; μ - коефіцієнт поперечної деформації ґрунту (коефіцієнт Пуассона), f - кут тертя ґрунту по сталі.

Зусилля відриву ґрунту P_b можна визначити із виразу [4]:

$$P_b = \frac{T}{\operatorname{tg}(\varphi + \rho)}, \quad (8)$$

де $\varphi = \alpha$ кут загострення ножа; ρ - кут тертя ґрунту по сталі.

Підставивши значення для наших умов у формулу (8) та розрахувавши, отримаємо:

$$P_b = \frac{T}{\operatorname{tg}(\varphi + \rho)} = 14,3 \text{ кН.}$$

Також міцність гірських порід на відрив можна визначити за формулою М.М. Протодьяконова [5]:

$$P_b = \frac{R_b h_0 \sigma_p}{1,2},$$

де h_0 - глибина відриву; R_b - найбільший радіус воронки відриву; σ_p - тимчасовий опір матеріалу на розрив.

Отже зусилля, які необхідні для різання мерзлого ґрунту - $P = 20,5 \text{ кН}$, а зусилля для відривання від масиву - $P_b = 14,3 \text{ кН}$.

Висновки

Отримані траєкторії руху зуба розпушника при заглибленні дають змогу визначити процес руйнування ґрунту залежно від імпульсної подачі гідрорідини до різних гідроциліндрів, а саме: при імпульсній подачі до ГЦ1 та ГЦ2 відбувається різання ґрунту ріжучою кромкою та зминання ґрунту площадкою зношення зуба, а при подачі до ГЦ3 - ґрунт руйнується, в основному, відривом елементів стружки від масиву.

Залежно від способу розробки, а саме: при різанні та відриванні були визначенні зусилля руйнування ґрунту під час процесу занурення зуба розпушника у ґрунт. Проаналізувавши це, можна зробити висновок, що руйнування ґрунту відривом, при роботі ГЦ3, є на 30% менш енергоємним процесом, ніж руйнування різанням при роботі ГЦ1 та ГЦ2.

Таким чином, для зменшення навантажень на ланки навіски та зменшення енергоємності при заглибленні зуба розпушника в ґрунт є раціональною розробка та встановлення гідроприводу для імпульсної подачі гідрорідини до ГЦ3 навіски розпушника.

Література

1. Домбровский Н.Г., Гальперин М.И. Строительные машины. - М.: Высш. шк., 1985. - 224с.
2. Холодов А.М. Основы динамики землеройно-транспортных машин. Изд-во Машиностроение. Москва 1968, - 156с.
3. Ветров Ю.А., Баладинский В.Л. Машины для специальных земляных работ: Учеб. пособие для вузов. - Киев: Вища школа. Головное изд-во, 1980. - 192с.
4. Лозовой Д.А. Разрушение мерзлых грунтов. (Методы интенсификации и создание системы машин для стесненных условий строительства). Изд-во Саратов. ун-та, 1978, - 184с.
5. Кравець С.В. Теорія руйнування робочих середовищ: Навчальний посібник - Рівне: НУВГП, 2008. - 124с.

Рецензент: І.В. Русан, к.т.н., доцент (КНУБА, Київ)

Отримано: 15.02. 2012 р.