

Аналіз механізму збудження динамічної складової тягового опору ґрунтообробних машин

У роботі розглянуті методичні питання, пов'язані з проектними розрахунками ґрунтообробних робочих органів. За критерій раціональності конструкції, яка проектується, прийнятий тяговий опір. Пропонується для визначення тягового опору поділити його на дві складові: постійну і динамічну, а робочий орган розглядати як єдиний різальний периметр, дія якого спрямована на початкове відокремлення від призми ґрунту загального масиву з наступним його кришенням складовими елементами периметра. За основу математичної моделі взаємодії такого різального периметра з оброблюваним середовищем прийнята теорія внутрішньої напруги, сутність якої полягає в попередній наявності такої напруги, яку робочий орган у процесі роботи повинен подолати, що створює опір на переміщення. Основний недолік існуючих математичних моделей полягає в неможливості враховувати динамічну складову, що зменшує достовірність отримуваних результатів. Автор пропонує методику її врахування імовірнісними розрахунками методом Монте-Карло.

Ключові слова: внутрішня напруга, різальний периметр, складові тягового опору.

Суть проблеми. З формальної точки зору обробіток ґрунту являє собою переведення вихідного стану механіко-технологічних властивостей до рівня агротехнічно необхідного. Процес переведення відбувається шляхом механічного впливу деформатора, який являє собою тверде тіло, яке рухається у ґрунті і порушує його структуру. За таких умов обробіток ґрунту – це підведення до нього певної кількості енергії, щоб досягти необхідних показників якості кришення і розпушення.

На проектному етапі розробки ґрунтообробних знарядь необхідно оцінити прогнозовані показники якості виконання технологічного процесу, що можна виконати розрахунками відповідно до математичної моделі взаємодії знаряддя з середовищем, яке обробляється.

Розроблення універсальної математичної моделі для знаряддя довільної геометричної форми – задача доволі складна і потребує значної кількості припущень і обмежень. Відомі моделі, наприклад, В. І. Баловнева [1], Ю. А. Ветрова [2], В. І. Ветохіна [2], А. Н. Зеленіна [4], розроблені для певної групи робочих органів, і не можуть бути узагальнювальними. Водночас, на проектному етапі необхідно підбирати раціональні параметри конструкції, змінюючи їх. Отже, існує проблема розроблення більш універсальної математичної моделі взаємодії робочого органа довільної геометричної форми з ґрунтом.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Найбільш близько до створення узагальнювальної моделі підійшов А. М. Панченко [7]. В основу моделі закладена теорія внутрішньої напруги, сутність якої полягає в тому, що у ґрунті попередньо існує внутрішня напруга і для кришення цю напругу необхідно подолати силовим полем робочого органу. Відповідно до моделі, робочі поверхні знаряддя утворюють єдиний різальний периметр. Різальний периметр відокремлює від загального масиву призму ґрунту, утворюючи в цій призмі силове поле, яке і кришить ґрунт. Отже, тяговий опір знаряддя складається із сил відокремлення призми і сил кришення.

кремлення призми і сил кришення.

Для відокремлення призми ґрунту від загального масиву необхідно подолати внутрішню напругу, яка пропорційна питомому зчепленню часток ґрунту і площі контакту із загальним масивом поверхні фігури, яка відокремлюється:

$$P = C_{\text{пит}} \cdot F_{\text{СК}} \quad (1)$$

де: $C_{\text{пит}}$ – питоме зчеплення часток ґрунту;

$F_{\text{СК}}$ – сумарна площа відколу.

Далі, в межах різального периметра виділяють ділянки, які сприймають тиск ґрунту і сили тертя в процесі відносного переміщення, знаходять аналітичні формули для їх підрахунку, визначають загальну реакцію і приймають її як складову сили опору, яка витрачається на кришення. Окремо визначають сили на переміщення розкришеного ґрунту вздовж поверхонь різального периметра.

Наведена схема розрахунку вимагає ряду припущень, головні з них [7]:

- ґрунт моделюється середовищем, яке має внутрішнє тертя і питоме зчеплення часток;
- розгалуження тріщин (ліній відколу) у ґрунті відбувається у поперечно-вертикальній площині під кутом φ_2 до вертикалі (де φ_2 - кут внутрішнього тертя, у повздовжно-вертикальній площині під кутом $90^\circ + \varphi_2$ до різального леза);
- первинний напрямок розповсюдження тріщини є пріоритетним і в процесі розповсюдження не змінюється;
- опір розповсюдженню тріщини є постійним на всій її довжині;
- реакція ґрунту не залежить від напрямку прикладання сили;
- питоме зчеплення часток ґрунту є інтегральним показником, яке визначає всі механіко-технологічні властивості ґрунту;
- механіко-технологічні властивості ґрунту носять імовірнісний характер і підпорядковуються нормальному закону розподілу;

- межа несної спроможності є функцією питомого зчеплення часток ґрунту і не залежить від глибини.

Суттєвим недоліком моделі є те, що вона працює тільки за постійного значення механіко-технологічних властивостей ґрунту. Це дозволяє визначити тільки номінальну постійно діючу складову тягового опору і, як наслідок, такі ж номінальні показники кришення і розпушення. Водночас, змінна, варіаційна складова – дуже важлива.

Мета досліджень. Адаптація методики розрахунку тягового опору ґрунтообробних знарядь на основі теорії внутрішньої напруги до визначення динамічної складової.

Виклад основного матеріалу. Проаналізуємо можливість визначення амплітудних миттєвих значень тягового опору відповідно до теорії внутрішньої напруги. Результатом аналітичних досліджень А. М. Панченка була знайдена універсальна формула (формула 204 [7]), для визначення горизонтальної складової тягового опору знаряддя довільної геометричної форми залежно від приведеної ширини захвату. Відповідно до прийнятої нами робочої гіпотези, зміна тягового опору є наслідком нестабільності механіко-технологічних властивостей середовища, яке обробляється, тому формулу перепишемо в такому вигляді

$$P = \sum_{i=1}^{i=n} (C_{уд} + k_i \cdot \sigma_c) \cdot \left[\frac{0,66a^2 \cdot ctg\varphi_2}{\cos(45 + \varphi_2)} + b_3 \cdot a \right] \cdot \left\{ \begin{aligned} & \cdot \left[tg(45 + \varphi_2) + 4,9 \cdot b_3 \cdot a^2 \cdot tg^2(45 - 0,5 \cdot \varphi_1) \right. \\ & \left. + \left[\sin \varphi_2 + \cos(\alpha_p - \varphi_1) \cdot \cos \alpha_p \cdot tg \varphi_1 \right] + 2a^2 \right. \\ & \left. \cdot \left[0,5 \cdot (C_{уд} + k_{i+1} \cdot \sigma_c) \cdot [tg(45 + \varphi_2) + ctg \alpha_p] \cdot \right. \right. \\ & \left. \left. + \left[\frac{0,66 \cdot ctg \varphi_2 \cdot tg \varphi_1}{\cos(45 + \varphi_1)} + 4,9 \cdot \delta_p \cdot tg^2(45 - \varphi_1) \right] \cdot \right. \right. \\ & \left. \left. \cdot \sin \varphi_2 \cdot \gamma \right] \cdot tg \varphi_1 + (K' + k_{i+1} \cdot \sigma_k) \cdot \right. \\ & \left. \cdot (Z + X \cdot tg \varphi_1) \cdot b_3 + \frac{9,81 \cdot b_3 \cdot a \cdot \gamma \cdot \sin \alpha_p \cdot \cos \theta}{g \cdot \sin(\alpha_p + \theta)} \right. \\ & \left. \cdot V^2 \cdot \cos \left[\arctg \frac{i + \sin \varphi_1}{\cos \varphi_1} - \varphi_1 \right] \right\} \quad (2) \end{aligned}$$

де: $C_{уд}$, K' , γ , φ_2 , φ_1 – відповідно номінальні значення питомого зчеплення часток, межі несної спроможності, питомої ваги ґрунту, кутів внутрішнього і зовнішнього тертя;

σ_c , σ_k – їх середні квадратичні відхилення;

k_i – послідовні випадкові числа, які підпорядковуються закону розподілу випадкової величини в діапазоні 0 ± 1 .

Номінальні значення і середні квадратичні відхи-

лення механіко-технологічних властивостей знаходять за відомими методиками [6], випадкові числа генерують у процесі розрахунків генератором випадкових чисел ПЕОМ.

Конструктивні параметри конструкції:

b_3 – приведена ширина захвату робочого органу, м;

X , Z – параметри затуплення леза, м;

α_p – кут різання, град.;

Θ – задній кут леза, град.;

V – робоча швидкість, м/с.

У роботі [7] наведені приклади розрахунку для ряду робочих органів. Нами були виконані розрахунки відповідно до формули 2 з використанням аналогічних вихідних даних. Особливість розрахунків полягає в тому, що вони передбачають використання методу Монте-Карло, тобто їх можна виконати тільки на ПЕОМ. Результати наведені в таблиці 1. Щоб зменшити обсяги публікації ми не наводимо вихідні дані, а даємо в таблиці посилання на сторінки монографії. Розрахунки за запропонованою методикою не дають фіксованого значення питомого тягового опору. Процес носить імовірнісний характер і тому можна отримати тільки діапазон значень.

Таблиця 1 – Розрахункові значення питомого тягового опору

Вид знаряддя	Питомий тяговий опір, кН/м ²	
	За методикою А. М. Панченка	Відповідно до запропонованої методики
Полицевий плуг	14,4 (с. 82[7])	13,1 – 14,6
Диск сферичний	29,77 (с. 89[7])	29,2 – 29,4
Борона зубова	84,87 (с. 93[7])	83,9 – 91,2
Стрілчаста лапа	11,9 (с. 98[7])	10,3 – 12,5
Глибьокорозпушувач	19,55 (с. 106[7])	19,4 – 19,6

Аналіз даних таблиці показує, що дані, отримані за методикою А. М. Панченка, перебувають в межах, отриманих за запропонованою методикою, що є логічним, бо обидві методики мають єдину аналітичну основу – теорію внутрішньої напруги. Аналіз також показує, що максимальна залежність тягового опору від механіко-технологічних властивостей – у полицевого плуга, мінімальна – у сферичного диска.

Висновки. Урахування динамічної складової тягового опору в проектних розрахунках дозволяє суттєво покращити якість розрахунків і зменшити витрати на проектні роботи.

Математична модель, побудована на основі теорії внутрішньої напруги, є найбільш універсальною і дозволяє виконувати розрахунки для робочих органів практично довільної геометричної форми.

Список літератури

1. Баловнев В. И. Методы физического моделирования рабочих процессов дорожно - строительных машин / В. И. Баловнев. – М.: Машиностроение, 1974. – 232 с.

2. Ветехин В.И. К вопросу разработки системной модели крошения пласта почвы / В.И. Ветехин // Праці ТДАТУ – Мелітополь: ТДАТУ, 2010. - Вип.10, - Т.7. –

C.245-252.

3. Ветров Ю. А. Резание грунтов землеройными машинами / Ю. А. Ветров. - М. : Машиностроение, 1971. – 357 с.

4. Зеленин А. Н. Основы разрушения грунтов механическими способами / А. Н. Зеленин. - 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1968. – 375 с.

5. Кобець А. С. Грунтообробні машини: теорія, конструкція, розрахунок: монографія / А. С. Кобець, Б. А. Волик, А. М. Пугач. - Дніпропетровськ: Свідлер А.Л., 2011. – 140 с.

6. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів: навчальний посібник / А. С. Кобець, Т. Д. Іщенко, Б. А. Волик, О. А. Демидов. – Дніпропетровськ: РВВ ДДАУ, 2009. – 84 с.

7. Панченко А. Н. Теория измельчения почв почвообрабатывающими орудиями / А. Н. Панченко. – Днепропетровск: ДГАУ, 1999. – 140 с.

Аннотация. В работе рассмотрены методические вопросы, связанные с проектными расчетами почвообрабатывающих рабочих органов. Критерием рациональности проектируемой конструкции принято тяговое сопротивление. Предлагается для определения тягового сопротивления разделить его на две составляющие: постоянную и динамическую, а рабочий орган рассматривать как единый режущий периметр, действие которого направлено на первоначальное отделение призмы грунта от общего массива с последующим его измельчением составляющими элементами периметра. За основу математической модели взаимодействия такого режущего периметра с обрабатываемой средой принята теория внутреннего напряжения, сущность которой заключается в пре-

дыдущем наличии такого напряжения, которое рабочий орган в процессе работы должен преодолеть, что создает сопротивление на перемещение. Основной недостаток существующих математических моделей заключается в невозможности учитывать динамическую составляющую, что уменьшает достоверность получаемых результатов. Автор предлагает методику ее учета вероятностными расчетами методом Монте-Карло.

Summary. The methodical issues related to the design calculations of soil working working bodies are considered in the paper. According to the criterion of rationality of the design, which is projected, the traction resistance is adopted. It is offered to determine the traction resistance to divide it into two components: constant and dynamic, and the working body to be considered as the only cutting perimeter, whose action is directed at the initial separation from the general mass of the prism of the soil, followed by its crumbling of the constituent elements of the perimeter. The basis of the mathematical model of the interaction of such a cutting perimeter with the treated medium is the theory of internal stress, the essence of which is the preliminary presence of a voltage that the working body in the process of work must overcome, which creates resistance to movement. The main disadvantage of existing mathematical models is the inability to take into account the dynamic component, which reduces the reliability of the results. The author suggests a method for its calculation by probabilistic calculations using the Monte Carlo method.

Стаття надійшла до редакції 5 лютого 2018 р.