

УДК 625.73

ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ УЩІЛЬНЕННЯ ҐРУНТІВ ҐРУНТОУЩІЛЬНЮВАЛЬНИМ ОБЛАДНАННЯМ З ПОВЕРХНЯМИ БЛОКУВАЛЬНОГО ТИПУ

Анофрієв Павло Григорович, Черкудінов Володимир Едуардович

Актуальність проблеми. Використання поверхонь блокованого типу можливе в основному при ущільненні ґрунту під час будівництва шляхів та при засипанні котлованів.

Під блокованим ущільненням ґрунту розуміється властивість ґрунту утримуватись під робочим органом при виконанні технологічного процесу ущільнення ґрунту. Це можливо при використанні р. о. з поверхнями блокованого типу.

Аналіз публікацій. У науково-технічній літературі [5, 6] розглядаються математичні моделі взаємодії ґрунтоущільнюючого обладнання тільки з традиційним плоским виконанням поверхні робочої плити. Відомості щодо профільного виконання робочої поверхні з акцентом на блокуючу дію на ґрунт відсутні.

Формування мети та задач. Метою є визначення факторів, які впливають на коефіцієнт ущільнення ґрунту при використанні поверхонь блокуючого типу.

Основна частина. При розробці математичної моделі ущільнення ґрунту ґрунтоущільнюючим обладнанням з поверхнями блокуючого типу слід врахувати деякі чинники, а саме співвідношення дотичних і нормальних напружень в місцях контакту поверхні робочого органу з ґрунтом, врахування впливу режиму роботи поверхні через коефіцієнт зниження нормального питомого опору ґрунту при ущільненні його на певну глибину, зміні питомого тиску при контакті робочого органу, з урахуванням глибини занурення в ґрунт блокуючих елементів.

При побудові фізико-математичної моделі приймаються деякі обмеження і припущення:

- розглядається рівномірне переміщення поверхні робочого органу по рівній горизонтальній ділянці ґрунту зі швидкістю близько 1 м/с;
- тиск у зоні контакту робочого органу з ґрунтом розподіляється рівномірно за всією площею контакту.

Таким чином, математичний опис процесу взаємодії ґрунтоущільнюючого робочого органу з ґрунтом при відомих розмірних параметрах навантажень, а також фізико-механічних властивостей ґрунту, дозволяє розрахунковим шляхом визначити всі оцінювальні показники і характеристики цього процесу.

На основі аналізу науково-технічної літератури передбачається, що ефективна робота по ущільненню здійснюється при коефіцієнтах ущільнення $k_{yц} = 0,90...0,92$, які повинні поступово підвищуватися для забезпечення зростання щільності ґрунту з постійною і максимальною для вибраного режиму швидкістю, при цьому робота повинна проходити в стійкому режимі.

Отримане рівняння дасть можливість оцінити ступінь ущільнення ґрунтів профільними поверхнями і порівняти її з показниками традиційних р.о. Також при обробці результатів, можна виділити параметри, що дозволяють оптимізувати процес ущільнення ґрунту.

В результаті аналізу літератури [2] знайдена формула для визначення коефіцієнта ущільнення $k_{yц}$, м²/МН

$$k_{yц} = \frac{h(1 + \varepsilon_0)}{Hq_{max}}; \quad (1)$$

де q_{max} – середній максимальний тиск робочого органу на ґрунт, МН/м²:

$$q_{max} = \frac{\sum q_{max_i}}{n_i};$$

q_{max_i} - максимальний тиск робочого органу на ґрунт під i -м опорним профілем, МН/м²;

n_i - кількість опорних профілей;

H - найбільша глибина ущільнення шару ґрунту від q_{max} ($H=2b$), м;

ε_0 - коефіцієнт пористості до початку деформації, який уявляє собою співвідношення об'єму пустот у ґрунті до об'єму, який займають тільки ґрунтові частки;

h - загальна глибина ущільнення ґрунту (деформація ґрунту), м.

Загальна глибина деформації ґрунту h це сума деформацій пружньої h_1 та зсуву часток h_2 :

$$h = h_1 + h_2.$$

Деформація зсуву визначається несучою здатністю ґрунту q_s і залежить від загальної деформації.

Деякі джерела [3], [5] описують цей зв'язок таким співвідношенням:

$$h_2 = h \frac{q_0}{q_s},$$

де q_0 - середній тиск на ґрунт, МН/м².

З урахуванням перетворень отримуємо вираз

$$h = h_1 \frac{q_s}{q_s - q_0}. \quad (2)$$

Експериментальне дослідження по вивченню напруженого стану ґрунту під поверхнями робочого органу блокуючого типу ґрунтоущільнюючого обладнання показали, що вертикальна деформація ґрунту виникає, в основному, під дією максимальних нормальних напружень, [1], [4].

Максимальне напруження σ_z залежить від середнього питомого тиску робочого органу на ґрунт q_0 , довжини опорної поверхні робочого органу L , загальної ширини ділянок опорних профілей b на різних горизонтальних перерізах z :

$$\sigma_z = q_0 \frac{L \cdot b}{L \cdot b + \mu(L - b)z + \frac{z^2}{\mu}}, \quad (3)$$

де μ - коефіцієнт, який характеризує вплив властивостей ґрунту (тип, вологість, ступінь розпушування) на розподіл напружень по товщині (коефіцієнт Пуассона для ґрунтів).

Припускаючи, що пружна деформація лінійно залежить від напружень, вертикальне зтискання елементарного шару ґрунту (рисунок 1):

$$dh_1 = \frac{\beta \sigma_z dz}{E_0}, \quad (4)$$

де E_0 – модуль деформації ґрунту при відсутності зсувів, МПа;

β - коефіцієнт, який характеризує бічне розширення ґрунту.

$$\beta = 1 - \frac{2\mu}{1 - \mu}.$$

Але для того, щоб врахувати ступінь блокування ґрунту під р.о. в залежності від вигляду робочого органу блокованого типу. пропонуємо ввести Кбл, який буде в межах $0 < K_b \leq 1$.

$$\beta = \left(1 - \frac{2\mu}{1 - \mu} \right) / K_b.$$

Причому при відсутності блокуючого ефекту $K_{bl}=1$.

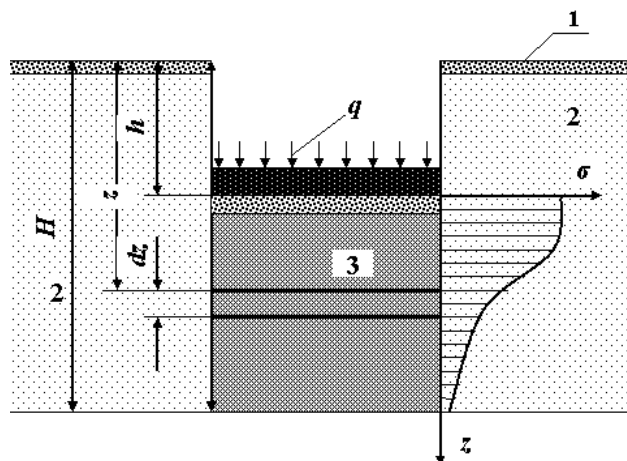
Попередньо прийнявши K_{bl} для різних поверхонь в межах від 0,2 до 1 та коеф пуассона 0,33...0,27 значення β буде таким.

Значення коефіцієнта β в залежності від K_{bl} та μ

Значення μ	Значення коефіцієнта блокування, K_{bl}							
	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1
0,27	1,3	0,87	0,65	0,52	0,43	0,37	0,33	0,26
0,3	0,7	0,48	0,36	0,29	0,24	0,2	0,18	0,14
0,33	0,07	0,05	0,04	0,03	0,025	0,021	0,019	0,015

Вирішуючи рівняння (3) і (4) та інтегруючи результат у межах від $z = 0$ до $z = H$, отримаємо формулу для визначення пружної деформації ущільнення ґрунту.

$$h_1 = \frac{2x\beta b q_0}{E_0 \sqrt{4\frac{x}{\mu} - \mu^2(x-1)^2}} \times \arctg \frac{\sqrt{4\frac{x}{\mu} - \mu^2(x-1)^2}}{2\frac{xb}{H} + \mu(x-1)} \quad (5)$$



1 – поверхня ґрунту; 2 – неушільнений ґрунт; 3 – ушільнений ґрунт;

Рис. 1 - Розрахункова схема для визначення деформації при ущільненні ґрунту
Глибина занурення робочого органу в ґрунт

$$h_1 = \left(\frac{2x\beta b}{E_0 \sqrt{4 \frac{x}{\mu} - \mu^2(x-1)^2}} \times \right. \\ \left. \times \arctg \frac{\sqrt{4 \frac{x}{\mu} - \mu^2(x-1)^2}}{2 \frac{xb}{H} + \mu(x-1)} \right) \frac{q_{\max} q_s}{q_s - q_0} \quad (6)$$

Визначивши вираз у дужках через α , отримаємо:

$$h = \alpha \frac{q_s}{q_s - q_{\max}} q_{\max},$$

де α - коефіцієнт, який характеризує опір ґрунту, пружній деформації та залежить від його фізико-механічних властивостей і параметрів робочого органу, м³/МН:

$$\alpha = \frac{2\beta L}{E_0 \sqrt{4 \frac{x}{\mu} - \mu^2(x-1)^2}} \times \\ \times \arctg \frac{\sqrt{4 \frac{x}{\mu} - \mu^2(x-1)^2}}{x + \mu(x-1)},$$

де x – коефіцієнт, який характеризує співвідношення довжини опорної поверхні L до її ширини b .

Висновок. Отримане рівняння K_{yuc} з урахуванням K_{δ} дасть можливість оцінити ступінь ущільнення ґрунтів при використанні ґрунтоущільнюючого обладнання з поверхнями блокуючого типу – обґрунтувати раціональні параметри поверхні робочого органу та дозволить інтенсифікувати процес ущільнення ґрунту.

ЛІТЕРАТУРА

1. Герасимов Ю.Ю., Сюнев В.С. Экологическая оптимизация технологических процессов и машин для лесозаготовок. – Йоэнсуу: Изд-во университета Йоэнсуу, 1998. – С. 178.
2. Лобанов В.Н. Оценка степени уплотнения лесных почв гусеничными машинами. Сб. научных трудов «Актуальные проблемы лесного комплекса», В.4. Брянск: БГИТА, 2001. – С. 86-88.

3. Агейкин Я.С. Вездеходные и комбинированные движители (теория и расчет). – М.: Машиностроение, 1972. – С. 184.
4. Лобанов В.Н. Исследование взаимодействия гусеничного движителя с деформируемым грунтом. Материалы симпозиума по террамеханике «Оптимальное взаимодействие». – Суздаль: 1992. – С. 93-97.
5. В.Ф. Бабков, В.М. Безрук. Основы грунтоведения и механики грунтов. – М.: Высшая школа, 1976. – С. 328.
6. Хархута Н.Я., Васильев И.М. Прочность, устойчивость и уплотнение грунтов земляного полотна автомобильных дорог. М., Транспорт, 1975.
7. Дорожные машины / Под ред. Н.Я. Хархуты. Л., Машиностроение, 1976.
8. Грунтоуплотняющие машины ударного действия (Обзор патентов) / Н.М. Кирюшин, Н.И. Никишин, А.И. Куликов, Ф.И. Романова. М., 1972.
9. Быховский И.И. и др. Автоматизация ударно-вибрационных машин. М., 1969.