

УДОСКОНАЛЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПРОГНОЗУВАННЯ ВИНИКНЕННЯ ҐРУНТОВИХ ЗСУВІВ

Удосконалено математичну модель прогнозування виникнення ґрунтових зсувів за рахунок введення показника ураженості території зсувними процесами. Для опису вологопереносу в ненасичених ґрунтах при різних погодних умовах використовуються рівняння, що враховують залежність гравітаційного потенціалу ґрунтових сил від об'ємної вологості ґрунту та коефіцієнта ураженості ділянок зсувними процесами. Обґрунтовано початкові і граничні умови.

Ключові слова: математична модель, прогнозування, ґрунтові зсуви, вологоперенос, коефіцієнт ураженості зсувними процесами.

Ґрунтові зсуви – один з найпоширеніших екзогенних геологічних процесів, що приносять значний збиток народному господарству. Успіх боротьби з зсувами багато в чому визначається рівнем знань про природу зсувів, механізмом їх розвитку, достовірністю прогнозуючих висновків.

Детальне вивчення геологічної структури зсувонебезпечної зони є особливо важливим і необхідним етапом вивчення механізму і кінематики зсувного процесу, що викликає необхідність проведення геологорозвідувальних робіт, головним чином бурових і геофізичних [1].

Гідрологічні чинники можуть робити істотний вплив на хід розвитку зсувних процесів. Дії цих чинників бувають силовими (фільтраційний тиск, підвищення маси порід при зволоженні) і знижуючими міцність порід за рахунок підвищення природної вологості, дифузійного вилуговування, суфозії [2].

Для прогнозування виникнення ґрунтового зсуву необхідно мати інформацію про геологічний розріз і рельєф місцевості в цілях виявлення місцезнаходження найбільш небезпечних ділянок з критичними кутами нахилу поверхні підстилаючих порід.

Таким чином, завдання розпізнавання зсуву зводиться до розв'язання рівняння вологопереносу з відповідними граничними умовами на поверхні ґрунту і на межі контакту досліджуваної товщі осадкових порід з підстилаючою породою, що може бути або корінною, або щільною осадкового походження з малим коефіцієнтом фільтрації. Якщо товща гірських порід передбачуваного зсуву складається з декількох шарів різних типів, на межах їх зіткнення повинні виконуватись наступні умови:

- а) рівність потоків вологи;
- б) умови сполучення вологості гірських порід.

В роботі розглянуто найбільш спрощений усереднений варіант, коли поверхні ґрунту і підстиляючих порід паралельні (рис. 1).

На рис. 1 пунктирною лінією нанесено середнє положення вільної поверхні ґрунту. Початок координат розташуємо на поверхні ґрунту. Вісь y направимо вниз. Рівняння вологопереносу для різних метеоумов наведені в [3].

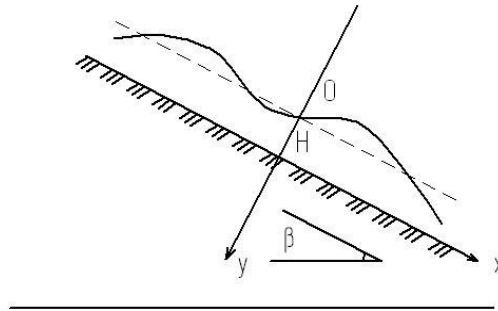


Рис. 1. Схема до розрахунку

При відсутності на поверхні ґрунту дощового потоку процес вологопереносу в ґрунті описується рівнянням:

$$\frac{\partial W}{\partial t} = \left\langle \cos \beta \left\{ D(W) \frac{\partial W}{\partial y} \cdot K_3 - \frac{K(W)}{W_{\max} - W_{gl}} \cdot K_3 \times \right. \right. \quad (1)$$

$$\left. \left. \times \left(\frac{W - W_{gl}}{W_{\max} - W_{gl}} \right)^{n-1} \left[(W - W_{gl}) + ny \frac{\partial W}{\partial y} \right] \right\} \right\rangle - s(y, t),$$

де W – об’ємна вологість ґрунту, долі одиниць; β – кут нахилу поверхні ґрунту до горизонту, град; $D(W)$ – коефіцієнт дифузії вологості в ґрунті, $\text{м}^2/\text{с}$; $K(W)$ – коефіцієнт гідравлічної провідності, $\text{м}/\text{с}$; K_3 – узагальнений коефіцієнт ураженості ділянки зсувними процесами; W_{gl} – характерна вологість ґрунту на глибині після повного гравітаційного стікання; n – показник ступеня, що визначається експериментальним шляхом, $n=3,5$; $s(y, t)$ – зміна об’ємної вологості в ґрунті в одиницю часу за рахунок поглинання води корінням рослин.

Рівняння (1) задовольняє наступним граничним умовам:

а) рівності потоків вологи через поверхню ґрунту при $y = 0$:

$$\cos \beta \left\{ -D(W) \frac{\partial W}{\partial y} \cdot K_3 + K(W) \cdot K_3 \cdot \left(\frac{W - W_{gl}}{W_{\max} - W_{gl}} \right)^n \right\}_{y=0} = q; \quad (2)$$

б) умові сполучення вологості порід при $y = H$:

$$W(H, t) = \frac{W_{\max}}{W_{\max}^P} W_p(H, t); \quad (3)$$

в) умові рівності потоків вологи при $y = H$:

$$\left\{ -D(W) \frac{\partial W}{\partial y} \cdot K_3 + \frac{K(W)}{W_{\max} - W_{gl}} \cdot K_3 \cdot \left(\frac{W - W_{gl}}{W_{\max} - W_{gl}} \right)^{n-1} \left[(W - W_{gl}) + nH \frac{\partial W}{\partial y} \right] \right\}_{y=H} =$$

$$= \left\{ -D_p(W) \frac{\partial W_p}{\partial y} \cdot K_3 + \frac{K_p(W)}{W_{\max}^P - W_{gl}^P} \cdot K_3 \cdot \left(\frac{W_p - W_{gl}^P}{W_{\max}^P - W_{gl}^P} \right)^{n-1} \times \right. \quad \Gamma)$$

$$\left. \times \left[(W_p - W_{gl}^P) + nH \frac{\partial W_p}{\partial y} \right] \right\}_{y=H} ;$$

$$W_p(\infty, t) = W_{gl}^P \quad (5)$$

за початкових умов

$$W(y, 0) = W_0(y), W_p(y, 0) = W_{gl}^P, \quad (6)$$

де q – інтенсивність випадання опадів, мм.

Індекс P в приведених вище граничних і початкових умовах відноситься до підстилаючої товщі порід.

Рівняння для підстилаючих порід виглядає аналогічно (1), але без члена $s(y, t)$, що враховує поглинання вологи корінням рослин.

При наявності на поверхні ґрунту дощового потоку завглибшки h рівняння вологопереносу в ненасиченому ґрунті має вигляд

$$\frac{\partial W}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial y} \left\{ \cos \beta \left\{ D(W) \frac{\partial W}{\partial y} \cdot K_3 - \frac{K(W)}{W_{\max} - W_{gl}} \cdot K_3 \times \right. \right.$$

$$\left. \left. \times \left(\frac{W - W_{gl}}{W_{\max} - W_{gl}} \right)^{n-1} \left[(W - W_{gl}) + n(h + y) \frac{\partial W}{\partial y} \right] \right\} \right\} - s(y, t). \quad (7)$$

Межа насиченої зони переміщатиметься в глибину ґрунту з швидкістю [3]:

$$v_f = K_f \cos \beta / W_{\max}, \quad (8)$$

де K_f – усереднений коефіцієнт фільтрації ґрунту, що враховує неоднорідність складу порід.

Заміною змінних $Y = y - v_f t$ рівняння (1) можна привести до вигляду, зручного для чисельної інтеграції:

$$\frac{\partial W}{\partial t} = v_f \frac{\partial W}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial y} \left\{ \cos \beta \left\{ D(W) \frac{\partial W}{\partial y} \cdot K_3 - \frac{K(W)}{W_{\max} - W_{gl}} \cdot K_3 \times \right. \right.$$

$$\left. \left. \times \left(\frac{W - W_{gl}}{W_{\max} - W_{gl}} \right)^{n-1} \left[(W - W_{gl}) + n(Y + v_f t) \frac{\partial W}{\partial y} \right] \right\} \right\} - s(y, t). \quad (9)$$

На рухомій межі насиченої зони при $y = v_f t$ має місце наступна гранична умова:

$$W(\upsilon_f t, t) = W_{\max}. \quad (10)$$

Після переходу до нової незалежної змінної Y умова (2.10) прийме вигляд

$$W(0, t) = W_{\max}. \quad (11)$$

Граничні умови на поверхні зіткнення з підстилаючою товщею порід залишаються без змін, але беруться в точці $Y = H - \upsilon_f t$.

Якщо підстилаючи породи водонепроникні, то при $Y = H$ виконується умова рівності нулю потоку вологи:

$$\cos \beta \left\{ -D(W) \frac{\partial W}{\partial y} \cdot K_3 + \frac{K(W)}{W_{\max} - W_{gl}} \cdot K_3 \times \right. \\ \left. \times \left(\frac{W - W_{gl}}{W_{\max} - W_{gl}} \right)^{n-1} \left[(W - W_{gl}) + n(h + y) \frac{\partial W}{\partial y} \right] \right\}_{y=H} = 0. \quad (12)$$

При вирішенні приведених вище рівнянь вологопереносу (1)-(12) можна визначити проміжок часу, за який досліджувана на появу зсуву товща гірських порід досягне повного насичення вологою при різних інтенсивностях випадання опадів.

За даними кліматичних довідників території гірських районів України (Карпати, гірський Крим) характеризуються суттєвим впливом висоти місцевості на найголовніші кліматичні показники (річна норма опадів, середньорічна температура повітря, товщина снігового покриву, глибина промерзання тощо).

Згідно ВБН В.2.3-218-186-2004 при визначенні середньої вологості ґрунтів \bar{W} необхідно застосовувати поправки на передгірський (до 1000 м) та гірський (більше 1000 м) характер рельєфу місцевості в межах 0,03-0,05.

У зв'язку із значним відхиленням кліматичних показників на території гірських районів, головним чином на висотах від 200 м до 1000 м, діюча методика внесення поправок виглядає недостатньо надійною.

На підставі аналізу даних 90 метеостанцій території Карпат та 69 метеостанцій та метеопостів Криму встановлені залежності величини коефіцієнта зволоженості території m від висоти місцевості над рівнем моря H , м у вигляді [4]:

- для території Закарпаття:

$$m = 1,30 + 0,003H; \quad (13)$$

- для території Прикарпаття:

$$m = 1,01 + 0,0023H; \quad (14)$$

- для території Криму:

$$m = 0,58 + 0,0017H. \quad (15)$$

Для прогнозування виникнення ґрунтових зсувів на автомобільних

дорогах у гірській місцевості необхідно визначити коефіцієнт узагальненої ураженості території зсувними процесами K_3 , що залежить від довжини та площі ділянки зсуву, а також враховує коефіцієнт зволоженості території m :

- для території Карпат:

$$K_3 = 0,65 + 0,45 \cdot K_l \cdot K_s \cdot m; \quad (16)$$

- для території Криму:

$$K_3 = 0,55 + 0,85 \cdot K_l \cdot K_s \cdot m, \quad (17)$$

де K_l - коефіцієнт лінійної ураженості ділянки зсувними процесами, що визначається за залежністю:

$$K_l = \frac{L_{\text{ураж}}}{L_{\text{заг}}}, \quad (18)$$

де $L_{\text{ураж}}$ - довжина ділянки, що уражена зсувними процесами, м;

$L_{\text{заг}}$ - загальна довжина досліджуваної ділянки, що дорівнює 1 км.

K_s - коефіцієнт площадної ураженості ділянки зсувними процесами, що визначається за залежністю:

$$K_s = \frac{S_{\text{ураж}}}{S_{\text{заг}}}, \quad (19)$$

де $S_{\text{ураж}}$ - площа ділянки, що уражена зсувними процесами, м²;

$S_{\text{заг}}$ - загальна площа досліджуваної ділянки, м².

Таким чином, завдання розпізнавання зсуву зводиться до розв'язання рівняння вологопереносу з відповідними граничними умовами на поверхні ґрунту і на межі контакту досліджуваної товщі осадкових порід з підстилаючою породою, що може бути або корінною, або щільною осадкового походження з малим коефіцієнтом фільтрації. Якщо товща гірських порід передбачуваного зсуву складається з декількох шарів різних типів, на межах їх зіткнення повинні виконуватись наступні умови:

- а) рівність потоків вологи;
- б) умови сполучення вологості гірських порід.

Список використаних джерел

1. Изучение режима оползневых процессов // М.: Недра, 1982. – 255 с.
2. Емельянова Е.П. Основные закономерности оползневых процес-сов / Е.П. Емельянова. – М. :Недра, 1972. – 310 с.
3. Волкович В.Л. Математическое прогнозирование смыва почвы дождевыми осадками // В.Л. Волкович, Г.А. Чечко, В.И. Панчук / Проблемы управления и информатики. – 1995. - №5. – С.141-152.
4. Автодорожній комплекс України в сучасних умовах: проблеми і шляхи

розвитку: зб. наук. пр. / редкол.: Г.Є. Липський та ін.; Транспортна академія України, Укр. Транспортний ун-т, корпорація «Укравтодор». – Київ: вид-во ПВКП «Укртиппроєкт», 1998. – 308 с.

Аннотация

Усовершенствована математическая модель прогнози-рования возникновения грунтовых оползней за счет введения показателя пораженности территории оползневыми процессами. Для описания влагопереноса в ненасыщенных грунтах при разных погодных условиях используются уравнения, которые учитывают зависимость гравитационного потенциала грунтовых сил от объемной влажности грунта и коэффициента пораженности оползневыми процессами. Обоснованы начальные и предельные условия.

Ключевые слова: математическая модель, прогнозирование, грунтовые оползни, влагоперенос, коэффициент пораженности оползневыми процессами.

Annotation

The mathematical model of soil landslip origin forecasting is improved due to the introduction of staggered index of territory by landslide processes. The equations that take into account the dependence of the gravitational potential of soil forces on the soil volumetric humidity and staggered coefficient by landslide processes are applied for the description of the moisture transfer process in non-saturated soil under various weather conditions. The initial and boundary conditions are substantiated.

Key words: mathematical model, forecasting, soil landslips, moisture transfer process, staggered coefficient by landslide processes.