

Проаналізувавши рекурентний ряд, можна зробити висновок, що за відомої кількості циклів  $N_1$ , що відповідає стану матеріалу першої точки біфуркації, можна розрахувати наступні значення ( $N_2, N_3, N_4, N_5, N_6$ ) кількості циклів, відповідні точкам біфуркації серії, і зрештою спрогнозувати кількість циклів до зруйнування.

#### Список літератури

1. Voynalovich O. V., Motrich M. N. Control of the technical state of agricultural aggregates by facilities of fault detection. Mechanization in agriculture, 2015. Issue 12/2015. Bulgaria. P. 29–31.

2. Pisarenko G. G., Voynalovich O. V., Mailo A. M. Damaging of structural steel under monotonic and cyclic deformation. Пошкодження матеріалів під час експлуатації, методи його діагностування і прогнозування. Праці V Міжнародної науково-технічної конференції (Тернопіль 19-22 вересня 2017 р.). Тернопіль. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. 2017. С. 38–41.

3. Писаренко Г. Г., Майло А. Н. Определение закономерностей повреждаемости стали X18H10T при циклических нагрузках R/S методом. Вібрації в техніці та технологіях. 2015. № 1 (77). С. 28–33.

4. Спосіб визначення стану граничного пошкодження металоконструкцій за кінетичними параметрами нелокалізованого пошкодження / О. В. Войналович, Г. Г. Писаренко, А. Н. Майло. Патент на корисну модель № 118616. Бюл. № 15 від 10.08.2017 р.

УДК 621.891:631.31

## РЕОЛОГІЧНІ СКЛАДОВІ МЕХАНІЗМУ КРИШЕННЯ ҐРУНТУ

*В. В. Аулін, д.т.н., професор, А. А. Тихий, к.т.н., доцент  
Центральноукраїнський національний технічний університет,  
м. Кропивницький, Україна*

Ґрунт є елементом відкритої, складної, поліфункціональної, полідисперсної, чотирифазної, гетерогенної, структурної трибосистеми, що активно взаємодіє з навколишнім середовищем. Зазначимо, що проблема обробітку ґрунту, згідно з положеннями термодинаміки, включає в себе роботу над навколишнім середовищем. Вплив зовнішньої енергії на ґрунт проявляється в адсорбційних процесах, що змінюють саму поверхневу енергію ґрунту. Причому цей вплив посилюється при її деформації. З розглянутих концепцій напружено-деформованих станів взаємодіючих елементів видно, що найбільша інтенсивність впливу навколишнього середовища настає тоді, коли в ґрунті відбуваються пластичні деформації.

Деякий ґрунтовий об'єм ущільнюється поступальним рухом клину. Частинки ґрунту в ньому знаходяться в умовах гідростатичного стиснення. При цьому тріщини і пори закриваються, але всі вони повністю зникнути не можуть. В теоріях руйнування існуючі в матеріалі пори і тріщини розглядаються як дефекти. Саме вони стають осередками руйнування, оскільки при навантаженні матеріалу на їх поверхнях концентруються напруження, при відповідних значеннях яких відбувається зростання тріщин і пор, утворюються нові вільні поверхні. Тобто пружна потенціальна енергія деформування, накопичуючись в пласті ґрунту, стає вище величини енергії взаємодії між частинками ґрунту. При цьому міжчасткові зв'язки розриваються, і їх відрив один від одного супроводжується утворенням поверхні розриву, на якій вивільняється накопичена пружна енергія.

Звільнена енергія йде на розрив міжчасткових зв'язків, а отже значить, і на зростання тріщини, що володіє поверхневою енергією. При утворенні єдиної тріщини її поверхнева енергія явно менше, ніж та, що вивільняється через неї потенціальна енергія. Тому постійне зростання тріщини неможливе без додаткових зусиль. Під час відриву пласту від масиву стає неможливим прикладання до нього цих зусиль. Просування відірваного пласта по робочій поверхні клина робочого органу ґрунтообробної машини (РОГМ) помітного додаткового його кришення не викликає. Тому вся робота кришення повинна проводитися на першому етапі впливу клина РОГМ на ґрунт. Для цього енергія, накопичена в пласті, повинна звільнитися через безліч тріщин, що утворюються тобто ґрунт повинен кришитися.

З наведеного випливає висновок про те, що при існуючих швидкостях руху ґрунтообробних агрегатів, РОГМ, які впливають на ґрунт шляхом стиснення, не забезпечують агротехнічно необхідної питомої поверхні ґрунту. Дослідження свідчать, що необхідні інші принципи впливу на ґрунтовий пласт. Крім цього встановлено, що ґрунт є елементом самодеформуємої системи, в якій безперервно відбувається зміна стану. Для дослідження стану цієї системи і зниження енергоємності обробки ґрунту потрібно розглянути реологічні методи. При силовій дії РОГМ на пласт ґрунту, елемент якого має об'єм  $V$  спостерігаються деформації стискування та розтягу (рис. 1).

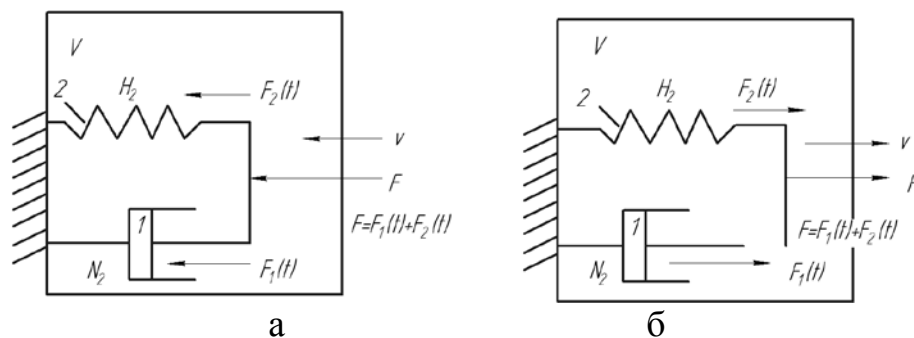


Рис. 1. Картина дії сил на об'єм пласту ґрунту при деформації стиску (а); розтягу (б): 1 – елемент в'язкості (реологічна модель Ньютона) ґрунту; 2 – елемент пружності (реологічна модель Гука).

Аналіз дій сил при різних деформаціях ґрунту описується рівняннями напруження ґрунту описується рівняннями:

- при деформації стиску:

$$\tau = \left( \tau_0 \exp\left(-\frac{G_{zc}}{\eta_M + \eta_K} t\right) \right)_I + (G_{zc} \dot{\gamma} + \eta_N \dot{\gamma})_{II} + \left[ \frac{2\dot{\gamma}}{\lambda_M} + \left( \frac{2\dot{\gamma}}{\lambda_M} + \eta \dot{\gamma} \right) \right]_{III}; \quad (1)$$

- при деформації розтягу:

$$\tau = 0,5 \left\{ \left( \tau_0 \exp\left(-\frac{G_{zc}}{\eta_M + \eta_K} t\right) \right)_I - (G_{zc} \dot{\gamma} + \eta_N \dot{\gamma})_{II} - \left[ \frac{2\dot{\gamma}}{\lambda_M} + \left( \frac{2\dot{\gamma}}{\lambda_M} + \eta \dot{\gamma} \right) \right]_{III} \right\}, \quad (2)$$

де:  $\tau_0$  – початкове напруження зсуву, Н/м<sup>2</sup>;  $G_{zc}$  – модуль зсуву, Н/м<sup>2</sup>;  $\eta_M, \eta_K, \eta_N$  – відповідно, коефіцієнти динамічної в'язкості елементів за реологічними моделями Максвелла, Кельвіна і Ньютона, Па·с;  $\dot{\gamma}$  – швидкість деформації, м/с;  $\lambda_M$  – коефіцієнт пропорціональності, Н/м;  $t$  – тривалість деформації, с.

Характер динаміки зміни напружень в процесі деформацій стиску та розтягу елемента ґрунту у вигляді графіків наведено на рис. 2.

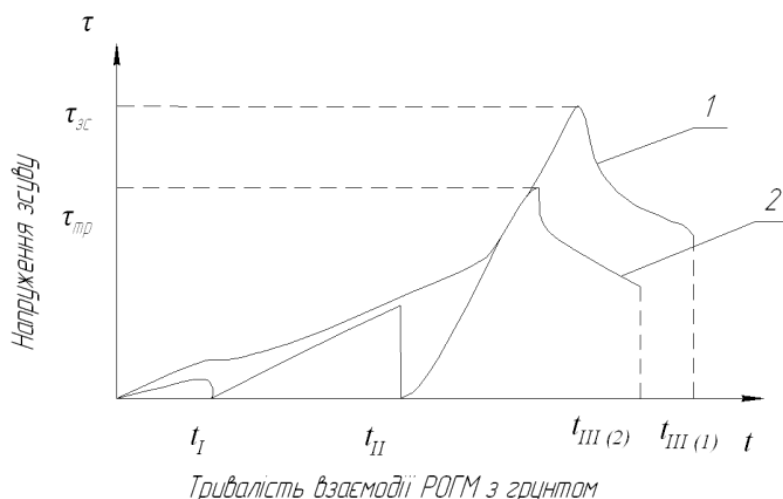


Рис. 2. Схема характеру зміни напруження в об'ємі елемента ґрунту шару прилеглого при РОГМ в процесі деформацій стиску (крива 1) і розтягу (крива 2).

Можна бачити, що руйнування ґрунту при деформації розтягу відбувається при меншій нарузі, ніж при деформації стиску. Це свідчить про те, що енергетичні витрати при дії РОГМ на ґрунт на основі деформації розтягу значно менші, ніж на основі деформації стиску.

Наведені реологічні рівняння та їх графічні інтерпретації показують, що в'язкість ґрунту знижується при збільшенні кількості видавлюваної рідкої фази при підвищенні тиску, тобто в'язкість ґрунту під час дії РОГМ не є постійною величиною. Процеси стиску і розтягу локальних об'ємів ґрунту супроводжуються зміною структури від макроагрегатів до елементарних частинок, в'язкість яких неоднакова. Для таких систем В. Оствальдом було введено поняття структурної в'язкості. Зміна в'язкості ґрунту в процесі його

деформації свідчить про те, що відбувається зростання швидкості зсуву між дисперсною фазою і середовищем ґрунту, тобто, взаємодія між ними знижується. Знижують в'язкість ґрунту і деформації, що виникають в самих ґрунтових частинках, сприяючи їх розриву та руйнуванню.

Таким чином, враховуючи характер руйнування ґрунту при деформації стиску і розтягу, енергоємність процесу, а також зміну реологічних характеристик дії РОГМ на ґрунт можна вважати, що для ефективного обробітку ґрунту більш доцільні є комбіновані РОГМ та РОГМ зі змінними формою та геометрією поверхонь ковзання. Крім цього в якості позитивної рекомендації є необхідність в попередньому розпушування ґрунту, тобто зменшенні його в'язкості.

УДК 656:338

## **МЕТОДИ ОЦІНКИ І АНАЛІЗУ НАДІЙНОСТІ СКЛАДНИХ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ ТА ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ В НИХ**

***В. В. Аулін, д.т.н., професор, Д. В. Голуб, к.т.н., доцент***  
*Центральноукраїнський національний технічний університет,  
м. Кропивницький, Україна*

Методи оцінки і аналізу надійності транспортних систем та технологічних процесів в них включають застосування аналітичних методів розрахунку, методів імітаційного статистичного моделювання, основних, додаткових та комбінованих методів аналізу (рис. 1).

Найбільше розповсюдження отримали аналітичні методи. Це пов'язано із забезпеченням необхідної точності результатів за відсутності або неможливості отримання початкової інформації. Методи імітаційного статистичного моделювання для розрахунку надійності технічних систем менш застосовні, оскільки не дозволяють одержувати достовірні результати, внаслідок неможливості коректного врахування моделлю великої кількості чинників функціонування системи.

Національним стандартом ДСТУ 2861-94, гармонізованим з вимогами міжнародного стандарту МЕК 60300-3-1:2003, регламентується рекомендації по застосуванню методів аналізу надійності складних процесів і систем, а також приводиться їх детальна характеристика. Згідно даних рекомендацій аналіз надійності системи має якісну і кількісну складові.

Якісний аналіз надійності технічних систем передбачає: аналіз функціональної структури; визначення режимів несправностей системи і компонентів, механізмів відмов, причин і наслідків відмов; визначення механізму деградації, який може привести до відмови; аналіз ремонтпридатності, з урахуванням часу, методу ізоляції і методу відновлення;