

УДК 577.31:624.132.3

В.В. Древецький, проф., д-р техн. наук, О.В. Кованько, магістр

Національний університет водного господарства та природокористування

Розробка автоматичної системи регулювання швидкості дослідного зразка підземнорухомого пристрою

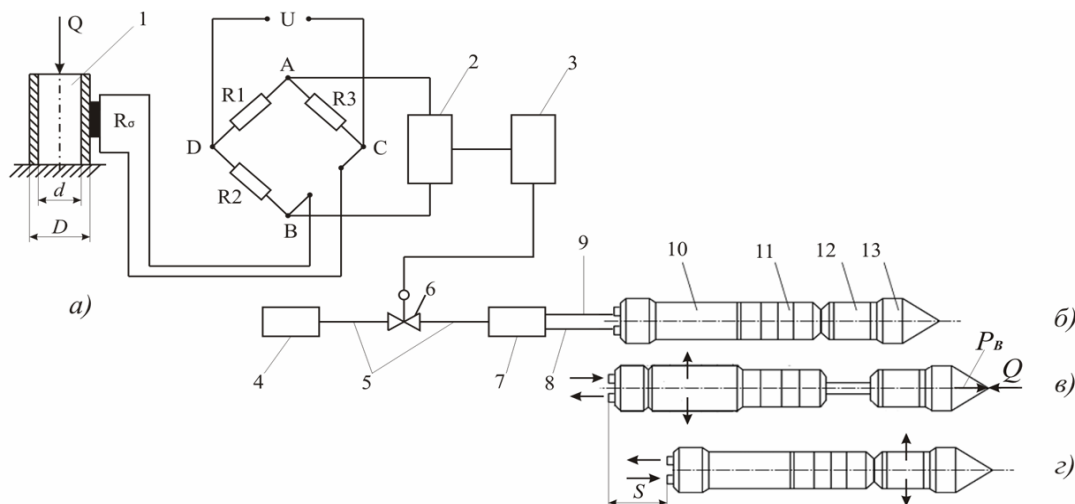
В статті описано принципову електричну схему автоматичної системи регулювання швидкості підземнорухомого пристрою, яка суттєво впливає на опір руйнування ґрунту. Регулювання здійснюється шляхом неперервного вимірювання величини опору ґрунту та реалізації відповідної сили дії робочого органу. Обґрунтовано вибір основних елементів даної автоматичної системи та наведено результати їхніх досліджень.

підземнорухомий пристрій, автоматична система регулювання, швидкість руху

Для прокладання підземних інженерних комунікацій розроблено ряд дослідних зразків підземнорухомих пристроїв (ПРП), підвищення ефективності яких можливе за рахунок автоматизації процесу переміщення у ґрунтовому просторі. Це дозволило б розширити діапазон їхнього застосування, зменшити енерговитратність та збільшити радіус дії без поповнення енергоресурсу. Зазначене є актуальним у зв'язку з подальшим проникненням людини у ґрунтовий простір, розвитком геотехнологій і зростаючою потребою у розміщенні під землею різних виробництв.

В [1, 2] описано різні модифікації ПРП. В [3] доведено, що швидкість руху суттєво впливає на силу опору руйнування ґрунту, у зв'язку з чим величина її повинна варіюватись. Для цього необхідно розробити відповідну автоматичну систему регулювання (АСР).

Принцип дії ПРП, оснащеного АСР швидкості руху наведено на рис.1.



а) – АСР швидкості руху; 1 – пружний пустотілий циліндр із закріпленням на ньому тензорезистором

R_{σ} ; Q – сила опору руйнування ґрунту; 2 – нормуючий перетворювач;

3 – мікроконтролер; 4 – енергоблок; 5, 8, 9 – гнучкі трубопроводи; 6 – виконавчий механізм (ВМ); б) – початкове положення ПРП; в) – фіксація хвостової частини і просування вперед відносно неї носової частини; г) – фіксація просунутої вперед носової частини і закінчення підтягування до неї хвостової частини; S – шлях на який переміщується ПРП за один цикл; 10 і 12 – задня і передня фіксуючі (розпірні) камери; 11 – лінійний гідропневмодвигун; 13 – носова частина; P_v – сила дії носової частини на ґрунт в процесі його деформування

Рисунок 1 – Схема процесу переміщення ПРП

На рис.1а показано первинний перетворювач сили у деформацію 1 (пружний пустотілий циліндр із закріпленням на ньому тензорезистором R_σ , включеним в плече ВС вимірювального мосту). Перетворювач знаходиться під дією сили реакції Q опору ґрунту, яку долає носова частина ПРП (рис. 1в) в процесі руху. В плечі BD, DA, AC вимірювального мосту ввімкнено резистори $R1=R3=1000 \text{ Ом}$ та $R2=400 \text{ Ом}$. Сигнал із вимірювальної діагоналі AB ($U_{AB} = f(Q)$) через підсилювач 2 надходить на вхід мікроконтролера 3, який виробляє відповідний командний електричний сигнал – напругу $U_{кер}$, що підводиться до ВМ. Цим зумовлюється відповідне положення заслінки і регулюється тиск робочого тіла, яке спрямовується від енергоблоку 4 по гнучкому трубопроводу 5 до реверсивного розподільвача 7, а від нього по трубопроводам 8 і 9 до ПРП.

Для розрахунку вимірювальної мостової схеми застосовано метод еквівалентного генератора [4], згідно якого напруга U_{AB} в індикаторній діагоналі визначиться як

$$U_{AB} = \frac{U \left(\frac{R_\sigma}{R_2 + R_\sigma} - \frac{R_3}{R_1 + R_3} \right) R_H}{\frac{R_1 R_3}{R_1 + R_3} + \frac{R_2 R_\sigma}{R_2 + R_\sigma} + R_H}, \quad (1)$$

де U – напруга живлення мостової схеми ($U = 10 \text{ В}$);

R_H – опір навантаження ($R_H = 25 \text{ кОм}$).

Оскільки

$$R_\sigma = R_{\sigma 0} + \Delta R, \quad (2)$$

де $R_{\sigma 0}$ – опір тензорезистора в недеформованому стані ($R_{\sigma 0} = 400 \text{ Ом}$);

ΔR – зміна його опору при деформації, то на основі явища тензоефекту [5] можна записати

$$\frac{\Delta R}{R_{\sigma 0}} = k \varepsilon, \quad (3)$$

де k – коефіцієнт тензочутливості дроту тензорезистора ($k = 2 \dots 2,2$);

ε – відносна деформація тензорезистора ($\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$);

l і Δl – відповідно довжина недеформованого тензорезистора і приріст його довжини при деформуванні.

Відомо [6], що в межах можливих деформацій для більшості матеріалів справедливим є закон Гука, який встановлює прямо пропорційну залежність між напруженнями σ і деформаціями ε

$$\sigma = E_n \varepsilon, \quad (4)$$

де E_n – модуль пружності (для сталі $E_n = 2 \cdot 10^{11} \text{ Па}$).

Із [6] випливає, що

$$\sigma = \frac{Q}{S^*}, \quad (5)$$

де S^* – площа поперечного перерізу перетворювача 1 (рис. 1а).

$$\text{Тут } S^* = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4}, \quad D = 0,02 \text{ м}, \quad d = 0,018 \text{ м}, \quad S^* = 0,00006 \text{ м}^2.$$

Із (4) і (5) знайдемо, що

$$\varepsilon = \frac{Q}{S^* E_n}. \quad (6)$$

Підставимо у (3) значення $k = 2$ і враховуючи (6) отримаємо, що

$$\Delta R = 2 \frac{QR_{\sigma 0}}{S^* E_n}. \quad (7)$$

Із (2) і (7) знайдемо

$$R_{\sigma} = R_{\sigma 0} + 2 \frac{QR_{\sigma 0}}{S^* E_n}. \quad (8)$$

Тоді з (1) і (8) випливає, що

$$U_{AB} = \frac{U \left(\frac{R_{\sigma 0} + 2 \frac{QR_{\sigma 0}}{S^* E_n}}{R_2 + R_{\sigma 0} + 2 \frac{QR_{\sigma 0}}{S^* E_n}} - \frac{R_3}{R_1 + R_3} \right) R_H}{\frac{R_1 R_3}{R_1 + R_3} + \frac{R_2 \left(R_{\sigma 0} + 2 \frac{QR_{\sigma 0}}{S^* E_n} \right)}{R_2 + R_{\sigma 0} + 2 \frac{QR_{\sigma 0}}{S^* E_n}} + R_H}. \quad (9)$$

Підставивши в (9) вихідні значення параметрів елементів АСР дослідного зразка ПРП, побудуємо графік (рис. 2) залежності напруги U_{AB} в індикаторній діагоналі вимірювального мосту від сили Q опору руйнування ґрунту носовою частиною ПРП.

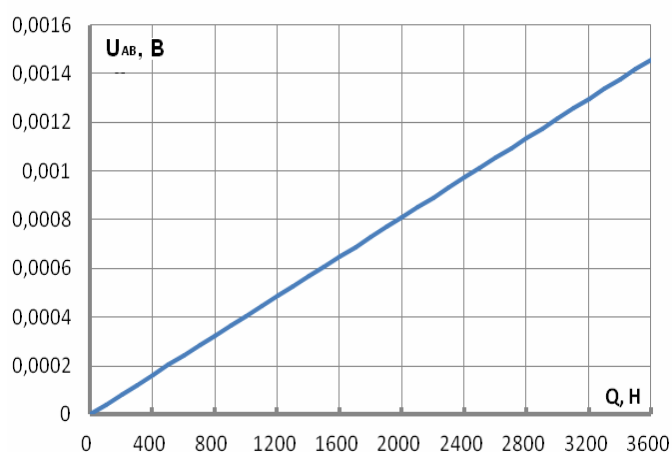


Рисунок 2 – Графік залежності вихідної напруги U_{AB} вимірювального мосту від сили Q опору руйнування ґрунту носовою частиною ПРП

Дану графічну залежність можна апроксимувати аналітичним виразом виду

$$U_{AB} = K_1 Q, \quad (10)$$

де K_1 – коефіцієнт пропорційності ($K_1 = 4,05 \cdot 10^{-7} \frac{B}{H}$).

Величина напруги U_{AB} , яка надходить до мікроконтролера типу МІК-51 повинна бути уніфікованою, в зв'язку з чим вводиться коефіцієнт підсилення K_2 по напрузі ($K_2 = 6800$).

На основі наведеного побудовано принципову електричну схему АСР швидкості ПРП. Розглянемо її основні елементи і принцип дії.

До складу схеми (рис. 3) входять такі елементи: *SB1* – кнопка для ввімкнення живлення систем ПРП; *ПНС-1* – блок для перетворення напруги живлення з 24В у 10В постійного струму; *БПТ-2* – нормуючий перетворювач (перетворює сигнал з вимірювального мосту у стандартний 0...10В); *МІК-51* – програмований логічний контролер (ПЛК) виробництва компанії «Мікрол» (*AI* і *AO* – відповідно аналогові вхід і вихід); *ER-20* – електричний ВМ виробництва компанії InterAPP ($U_{кер}$ – керуючий сигнал з МІК-51 на аналоговому вході плати розширення).

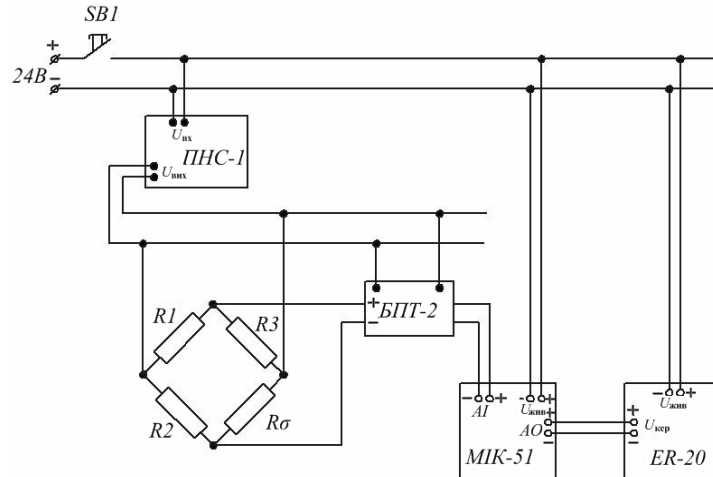


Рисунок 3 — Принципова електрична схема АСР швидкості ПРП

Вихідне положення ПРП показано на рис. 1б. При ввімкненні кнопки *SB* (рис. 3) напруга живлення подається на ПЛК *МІК-51* і ВМ *ER-20*. Крім того через блок перетворення напруги *ПНС-1* заживлюється схема для вимірювання сили опору руйнування ґрунту робочим органом ПРП та нормуючий перетворювач *БПТ-2*. Вимірювальний перетворювач реагує на величину сили опору ґрунту і подає через нормуючий перетворювач *БПТ-2* сигнал керування на аналоговий вхід *AI* ПЛК, який, у свою чергу, обробляє дану інформацію і подає через аналоговий вихід *АО* сигнал по напрузі ($U_{кер}$) на аналоговий вхід виконавчого механізму *ER-20*. В залежності від величини керуючого сигналу ВМ повертає на деякий кут регулюючий орган, тим самим збільшуючи чи зменшуючи подачу робочого тіла до лінійного гідропневмодвигуна (рис. 1б). В результаті цього змінюється сила P_B дії носової частини ПРП на ґрунт і підтримується задана швидкість його руху.

Для розробки програмного забезпечення АСР необхідно аналітично описати залежність між напругою $U_{кер}$ на виході МІК-51, силою Q опору руйнування ґрунту носовою частиною ПРП і швидкістю v руху.

Сила P_B (рис. 1в) дії носової частини на ґрунт дорівнює [7]

$$P_B = \frac{2m^* v^2}{S} + Q, \quad (11)$$

де m^* - рухома маса носової частини ПРП.

Враховуючи, що для дослідного зразка ПРП $P_B = K_3 U_{кер}$, де $K_3 = 378 \frac{H}{B}$,

отримаємо

$$K_3 U_{кер} = \frac{2m^* v^2}{S} + Q. \quad (12)$$

З (12) визначимо напругу керування $U_{кер}$

$$U_{кер} = \frac{2m^* v^2}{SK_3} + Q. \quad (13)$$

Оскільки фактично $U_{AB} = U_Q$, де U_Q - уніфікований сигнал по напрузі на вході МІК-51, то з (10) отримаємо

$$Q = \frac{U_Q}{K_1 K_2}. \quad (14)$$

Звідси (13) можна представити у виді

$$U_{кер} = \frac{2m^*}{SK_3} v^2 + \frac{1}{K_1 K_2 K_3} U_Q. \quad (15)$$

Підставивши в (15) числові значення коефіцієнтів дослідного зразка ПРП ($m^* = 3\text{кг}$, $K_1 = 4,05 \cdot 10^{-7} \frac{B}{H}$, $K_2 = 6800$, $S = 0,05\text{м}$), отримаємо

$$U_{кер} = \alpha v^2 + \beta U_Q, \quad (16)$$

де $\alpha = 0,3175 \frac{c^2 B}{M^2}$; $\beta = 0,9606$.

Вираз (16) дозволяє визначити величину напруги, яку необхідно подати з виходу ПЛК на вхід ВМ залежно від заданої швидкості ПРП і сили опору руйнування ним ґрунту. Даний вираз покладено в основу програмного забезпечення розробленої АСР.

Отримані результати дозволяють вирішити задачу щодо автоматичного підтримування необхідної швидкості ПРП шляхом неперервного вимірювання сили опору руйнування ґрунту і реалізації відповідної сили дії на нього носової частини. Останнє зумовлює раціональне використання енергоресурсу пристрою, зменшення енергомісткості процесу переміщення у підземному просторі і збільшення радіусу дії, що в кінцевому рахунку підвищує його ефективність.

Список літератури

1. Патент України на корисну модель № 41889, E02F 5/18. Підземнорухомий пристрій / Кованько О.В. – Оубл. 10.06.2009, Бюл. № 11.
2. Патент України на корисну модель №42104, E02F 5/18. Реверсивний підземнорухомий пристрій / Древецкий В.В., Кованько В.В., Кованько О.В. – Оубл.25.06.09, Бюл. №12.
3. Кравець С.В., Кованько В.В. Вплив швидкості на форму та силу опору носової частини підземнорухомих пристроїв // Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету: Зб. наук. праць. – Харків, 2007. – Вип. 38. – С. 101-104.
4. Малинівський С.М. Загальна електротехніка. – Львів: Вид. НУ „Львівська політехніка”, 2001. – 593с.
5. Емельянов А.И., Емельянов В.А., Калинина С.А. Практические расчеты в автоматике. – М: Машиностроение, 1967. – 316 с.
6. Федосьев В.И. Сопротивление материалов. – М: Наука, 1969. – 544 с.
7. Кованько В.В. Основи розрахунку підземнорухомих біонічно-синтезованих пристроїв// Вісник інженерної академії України. – Київ, 2008. – Вип. 3 – 4. – С.94-97.

В. Древецкий, О. Кованько

Разработка автоматической системы регулирования скорости экспериментального образца подземнодвижущегося устройства

В статье описана принципиальная электрическая схема автоматической системы регулирования скорости подземнодвижущегося устройства, которая существенно влияет на сопротивление разрушения грунта. Регулирование осуществляется путем непрерывного измерения величины сопротивления грунта и реализации соответствующей силы действия рабочего органа. Обоснованно выбор основных элементов данной автоматической системы и приведены результаты их исследований.

V. Drevetskiy, O. Kovanjko

Research of the automatic system of adjusting of speed of underground moving device

In the article the of principle electric chart of the automatic system of adjusting of speed of underground moving device is described, which substantially influences on resistance of destruction of soil. Adjusting is carried out by the continuous measuring of the value of resistance and realization of the proper force of action of working organ. Grounded choice of basic elements of this automatic system and the results of their researches are resulted.

Одержано 02.12.09