УДК 624.13.002.5

Кованько В. В., д.т.н., професор, **Древецький В. В., д.т.н., професор**, **Кованько О. В., аспірант** (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

ПІДЗЕМНОРУХОМІ ПРИСТРОЇ БАГАТОЦІЛЬОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ – СТВОРЕННЯ, РОЗВИТОК, ІНТЕЛЕКТУАЛІЗАЦІЯ

Наведено технічні рішення і принципи дії деяких варіантів енергоощадних біонічно-синтезованих підземнорухомих пристроїв підвищеної ефективності. Проаналізовано можливі шляхи їх подальшого розвитку, удосконалення й інтелектуалізації. Зроблено висновок відносно перспективності застосування таких пристроїв в підземному будівництві, енергетиці, сільському господарстві, в якості технічних засобів моніторингу підземного простору і Державного кордону України по глибині.

Ключові слова: **підземнорухомий пристрій, командний електричний сигнал, автоматичне і ручне керування, енергоносій, ультразвуковий промінь.**

Вступ. Проблема дослідження, освоєння і захисту підземного простору, його сировинного і енергетичного потенціалу, розвиток геотехнологій, всезростаюча необхідність розміщення під землею виробництв і сховищ різного призначення, вимагає створення і вдосконалення високоефективних технічних засобів прокладання підземних інженерних комунікацій для транспортування води, газу, нафти, нафтопродуктів, корисних копалин (зріджених або переведених у газоподібний стан), тепла надр Землі, передачі енергії або інформації.

Аналіз сучасної техніки для виконання таких робіт показав, що поряд з беззаперечними досягненнями, їй притаманний значний опір руйнування ґрунту, велика матеріало- та енергомісткість, суттєвий техногенний вплив на довкілля й недостатність опрацювання питань керованості та підземної орієнтації. Тому створення нових енергоощадних керованих підземнорухомих пристроїв (ПРП) підвищеної ефективності є для України актуальним.

Аналіз останніх досліджень. Виходячи із наведеного, нами розроблено [1] метод формування нових технічних рішень ПРП шляхом синтезу раціональної механічної конструкції на основі механічних ана-

логів елементів математичної моделі процесу взаємодії з ґрунтом біологічного прототипу (кільчасті черв'яки сімейства Лумбрициди), що забезпечує наближення її властивостей до властивостей еволюційно оптимізованої конструкції біологічного оригіналу. На основі зазначеного було створено ряд варіантів технічних рішень черв'якоподібних пристроїв, визнаних винаходами, наприклад описаних в [2-6] та отримано результати теоретичних і експериментальних досліджень їх взаємодії з ґрунтом [7-11], проте відсутність автоматичного керування їхнім рухом зменшує цінність отриманих результатів.

Постановка завдання. Підвищені вимоги до витримування проектного нахилу підземних інженерних комунікацій, неоднорідність ґрунту та залежність його властивостей від багатьох чинників, суттєвий вплив швидкості руху на силу опору його руйнування, обмежені можливості для маневрування – все це ставить задачу створення відповідних ефективних систем автоматичного керування ПРП, що може стати підґрунтям для підвищення рівня їхньої інтелектуалізації і започаткування біомехатронних пристроїв. Останні структурно представлятимуть собою інтеграцію 3-х складових різної природи: біомеханічної, електронно-електротехнічної та комп'ютерної для керування рухом. Зазначене може бути передумовою до створення автопілотів здатних виявляти перешкоди в ґрунтовому просторі, їх оминати і забезпечувати рух по складним траєкторіям, що дозволить розширити функціональні можливості пристроїв та збільшити їх енергоощадність.

Результати досліджень. В цьому аспекті розглянуто лише кілька варіантів розроблених нами технічних рішень ПРП, наприклад, технічного рішення керованого штокопоршневого пристрою, наведеного на рис. 1 і створеного на основі [4].

Пристрій (рис. 1, а) складається з носової частини 1 з закріпленим на ній руйнівним (робочим) органом 2, який виконано у виді зрізаного конусоподібного наконечника 3 з бічною поверхнею 4 відповідного нахилу, охопленої бічною поверхнею порожнинної частини 5 з кільцем ущільнення 6 конуса 7. Останній закріплено на торці пружнього порожнинного циліндра 8, нижній кінець якого зафіксовано на товстостінній несучій перегородці 9. Пристрій включає в себе також передню розпірну частину 10, багатоступінчастий гідропневмодвигун 11, хвостову частину 12, задню розпірну частину 13, циліндричну гільзу 14, хвостовик 15 з патрубками 16 і 17, основну 18 та допоміжну 19 лінії живлення енергоносієм з радіальними каналами 20 і 21, які утворено у штоці 22 спереду і позаду поршнів 23. Тензорезистивний перетворювач 24 закріплено на бічній поверхні, як вже зазначалось, пружного порожнинного циліндра 8 (механічний пружний перетворювач сили) і уві-

мкнено в плечі вимірювального мосту 25 (рис. 1, б) з уніфікуючим перетворювачем 26 в його вимірювальній діагоналі. Останній під'єднано до входу мікроконтролера 27, який керує виконавчим механізмом 28, призначеним для регулювання тиску енергоносія, що надходить від енергоблоку 29 по гнучкому трубопроводу 30 до реверсивного розподілювача 31, який за допомогою гнучких трубопроводів 32 і 33 з'єднаний з патрубками 16 і 17 (рис. 1, а) хвостовика 15.

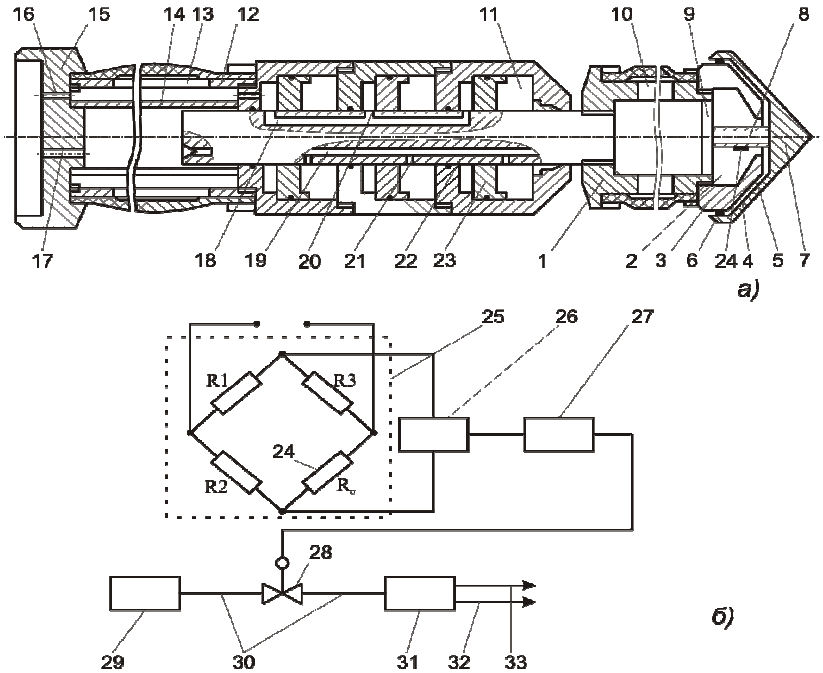

Рис. 1. ПРП з автоматичною системою керування швидкості руху:
а) конструктивна схема; б) принципова схема автоматичної системи керування

Схему процесу дискретного переміщення даного пристрою наведено на рис. 2.

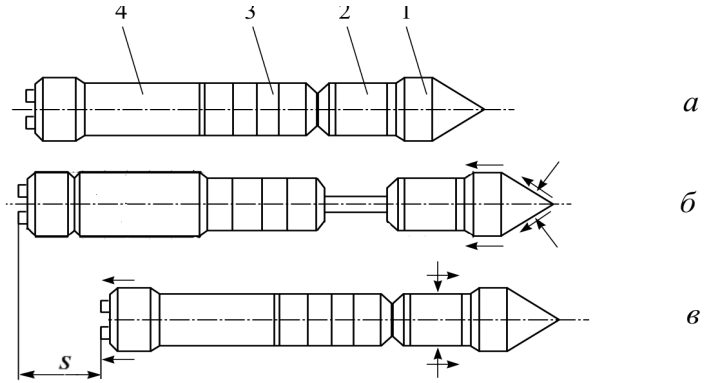

Рис. 2. Процес дискретного переміщення ПРП у ґрунті: а) вихідне положення; б) фіксація хвостової і просування вперед носової частин; в) фіксація носової і підтягування до неї хвостової частини на довжину «кроку» S: 1 – носова частина; 2 і 4 – передня і задня фіксуючі (розпірні) камери; 3 – лінійний гідропневмодвигун

На рис. 2, а показано вихідне положення пристрою; на рис. 2, б – збільшення в об'ємі еластичної оболонки і фіксація задньої розпірної камери та просування відносно неї вперед носової частини; на рис. 2, в – збільшення в об'ємі і фіксація передньої розпірної камери і закінчення підтягування до неї хвостової частини. Таким чином за кожний робочий цикл ПРП переміщується на «крок» довжиною *S*.

Принцип дії розглянутого пристрою полягає у наступному. При деформуванні ним ґрунту, реактивні сили опору зі сторони останнього, які діють на конус 7 (рис. 1, а) руйнівного органу 2 сприймаються первинним перетворювачем 8, який відповідно деформуючись, зумовлює деформування тензорезистора 24, що призводить до відповідної зміни його електричного опору. В результаті цього виникає розбаланс вимірювального мосту 25 (рис. 1, б), який викликає появу в його вимірювальній діагоналі відповідної напруги. Остання за допомогою уніфікованого перетворювача 26 приводиться до стандартного значення і підводиться до входу мікроконтролера 27. Отримавши у вигляді величини напруги інформацію про силу опору руйнування ґрунту, мікроконтролер вироблятиме командний електричний сигнал, який забезпечить відповідне відкривання або закривання заслінки 28. Цим регулюється тиск енергоносія, який періодично спрямовується по трубопроводам 32 і 33 до ПРП і зумовлює відповідну дію його конструктивних елементів, що забезпечують задану швидкість руху.

Із наведеного випливає, що для підтримування заданої її величини необхідно неперервно вимірювати силу опору руйнування ґрунту і відповідно до цього задавати величину керуючої напруги, яка підводиться до виконавчого механізму, призначеного для регулювання тиску енергоносія.

На рис. 3 показано принципову схему ПРП, створеного на основі [2] і оснащеного автоматичною системою стабілізації траєкторії у вертикальній площині.

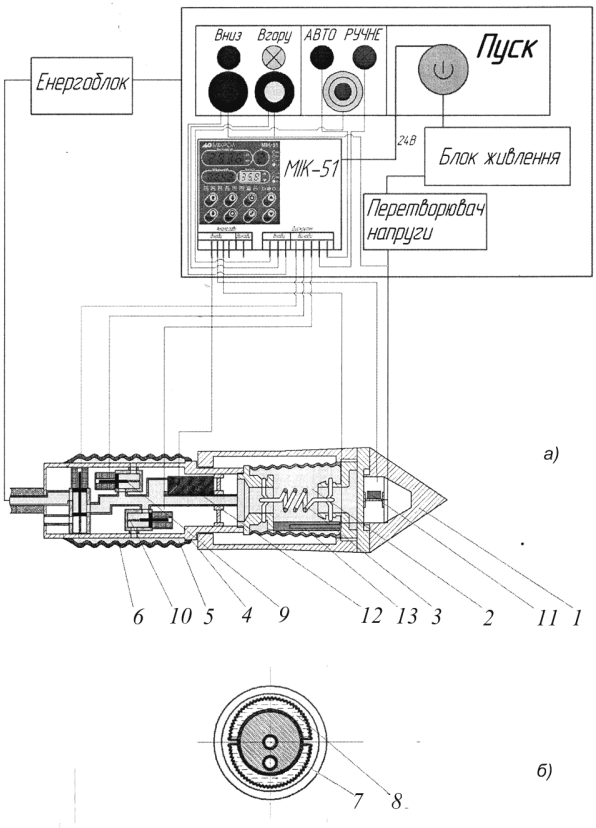

Рис. 3. Принципова схема ПРП з блоком автоматичної системи стабілізації траєкторії у вертикальній площині: а) загальний вигляд пристрою з пультом керування; б) вигляд пристрою зі сторони хвостової частини

Пристрій (рис. 3) складається із загостреної носової частини 1, камери 2 з циліндричною пружиною 3, хвостової частини 4 представле-

ної перфорованим циліндром 5 з радіальними отворами, зверху яких змонтовано циліндричну еластичну оболонку 6, яка розділена на дві ізольовані між собою секції 7 і 8 (рис. 3, б). У кожній із секцій знаходиться по одному золотниковому електромагнітному розподілювачу 9 і 10. В якості давача положення ПРП застосовано інклінометр 11, вхідною величиною якого є кут відхилення пристрою від заданого курсу у вертикальній площині, а вихідною – напруга. Остання підводиться до входу відповідно запрограмованого мікроконтролера МІК-51 (рис. 3, а), який обрано з урахуванням необхідності подальшого вдосконалення і розширення можливостей розроблюваної автоматичної системи.

Сигнал з виходу інклінометра і давача тиску 12, що контролює його величину в секціях 7 і 8, аналізується мікроконтролером, який формує відповідну величину командного сигналу і спрямовує його до відповідного електромагнітного розподілювача. Цим варіюється тиск енергоносія у секціях 7 і 8 і забезпечується необхідний протидіючий момент, що і зумовлює стабілізацію лінійності траєкторії у вертикальній площині.

Давач 13 лінійного переміщення ПРП разом з мікроконтролером призначений для контролю ходу носової частини пристрою відносно хвостової і навпаки та керування розподілом енергоносія від енергоблоку.

Пульт оператора (рис. 3, а) призначений як для автоматичного, так і ручного керування пристроєм та індикації щодо відхилення його від заданого курсу у вертикальній площині. Спрощену модель вирівнювання траєкторії пристрою наведено в [12].

На рис. 4 показано принципову схему пристрою з автоматичною системою керування конструктивними елементами, що забезпечує почергову їх взаємодію в процесі дискретного руху, який є результатом розвитку і удосконалення пристрою, описаного в [4].

Пристрій [13] складається з носової частини 1, передньої фіксуючої камери, охопленої еластичною оболонкою 2, силового модуля (лінійного багатоступінчастого гідропневмодвигуна 3), клапанів 4 і 5, задньої фіксуючої камери, охопленої еластичною оболонкою 6, електромагнітних клапанів 7 і 8 з індикаторами 9 і 10 їхнього спрацювання, запірного механізму 11, блока пневматичної або гідравлічної енергії 12, інтелектуального програмованого мікроконтролера 13, давачів 14, 15, 16 крайнього лівого і правого положення носової частини 1 та тиску енергоносія в передній фіксуючій камері.

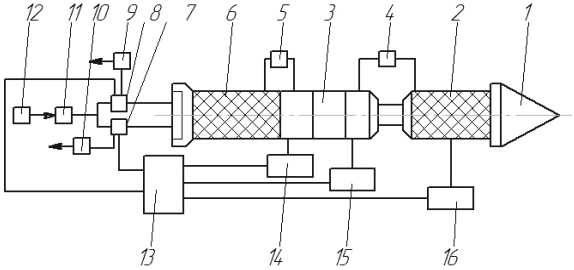

Рис. 4. Принципова схема ПРП з автоматичною системою керування елементами, що забезпечують його дискретний рух

При надходженні від енергоблока 12 через запірний механізм 11 енергоносія, еластична оболонка 6 збільшується в об'ємі до впирання у стінку ґрунтової порожнини і, за рахунок сил тертя, фіксується. Це можливо лише при досягненні заданого тиску. Після цього енергоносій через клапан 5 подається в силовий модуль 3. Останнє призведе до того, що носова частина, деформуючи ґрунт, переміститься вперед на деякий відрізок шляху. При цьому в її крайньому правому положенні спрацьовує клапан 4 і енергоносій спрямовується в передню фіксуючу камеру. Її еластична оболонка 2, збільшуючись в об'ємі, фіксує носову частину ПРП. Одночасно, оболонка задньої фіксуючої камери зменшується в об'ємі до вихідного положення і енергоносій надходитиме в протилежні порожнини силового модуля 3. В результаті цього хвостова частина переміститься вперед до фіксованої носової частини на відрізок, який дорівнює її попередньому переміщенню. Інформація про тиск в носовій фіксуючій камері та крайні ліве і праве положення носової частини 1 передається з допомогою давачів тиску 16 і давачів положення 14 і 15 до інтелектуального програмованого мікроконтролера 13, який керує електромагнітними клапанами 7 і 8, забезпечуючи поступальний розпірно-дискретний рух ПРП.

У розвиток описаного було розроблено технічне рішення такого ж типу ПРП, але з ультразвуковим віддалеміром (рис. 5) [14].

Принцип дії зазначеного пристрою наступний. Робоче тіло від енергоблоку 10 надходить до ПРП через виконавчий механізм 11, реверсивний розподілювач 12 та гнучкі трубопроводи 13 і 14. Якщо робоче тіло надходить по трубопроводу 13, то в цьому випадку тиск у трубопроводі 14 завжди дорівнюватиме атмосферному. Під дією робочого тіла еластична оболонка задньої фіксуючої камери 15, збільшуючись в об'ємі до впирання у стінку попередньо утвореного носовою частиною

1 фрагменту ґрунтової порожнини, фіксується, а сама носова частина переміщується за допомогою гідропневмодвигуна 16 вперед на заданий відрізок шляху («крок»). Після цього робоче тіло подається по трубопроводу 14, а відпрацьоване робоче тіло, за допомогою трубопроводу 13 відводитиметься назовні. Це призведе до того, що еластична оболонка задньої фіксуючої камери 15 зменшиться до своїх попередніх розмірів, а еластична оболонка передньої фіксуючої камери 17 збільшиться в об'ємі до впирання у стінку ґрунтової порожнини і хвостова частина підтягнеться до фіксованої носової частини на цю ж довжину «кроку». Водночас сам пристрій також переміститься вперед на цей самий «крок». В подальшому процес повторюватиметься і пристрій дискретно «кроками» рухатиметься вперед.

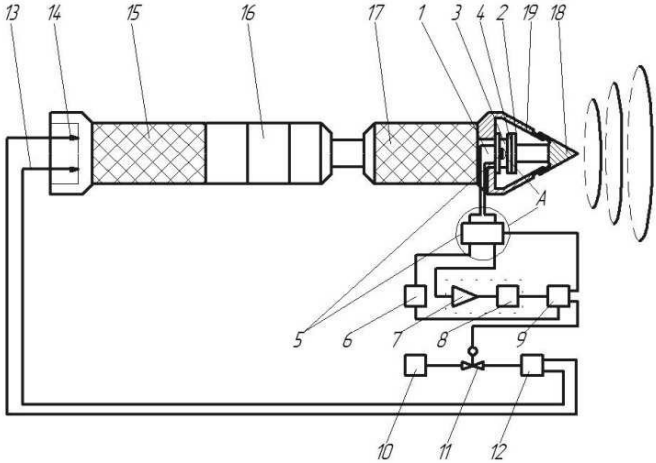

Рис. 5. Принципова схема керованого ПРП з ультразвуковим віддалеміром

Під час його руху відбуватиметься наступне. При фіксації хвостової частини пристрою і просуванні відносно неї вперед носової частини, інтелектуальний програмований мікроконтролер 9 дасть команду на увімкнення високочастотного електронного генератора 6, який генерує електричні коливання ультразвукової частоти. Останні перетворюються за допомогою п'єзобатареї 5, що знаходиться в корпусі ультразвукового вібратора 3, закритого мембраною 4, яка контактує з пластинчатою основою 19 наконечника 18 носової частини 1, в механічні коливання ультразвукової частоти. В процесі високочастотних коливань наконечника 18 відносно зрізаної конусоподібної складової 2, механічні хвилі ультразвукової частоти (ультразвуковий промінь) випромінюються в ґрунт. При підтягуванні хвостової частини до його фіксо-

ваної носової частини, мікроконтролер 9 дасть команду на розмикання генератора 6 та п'єзобатареї 5. При цьому відбиті від границі двох середовищ різної щільності механічні хвилі ультразвукової частоти діятимуть через наконечник 18 (який може коливатися відносно зрізаного конуса 2), його пластинчату основу 19 та мембрану 4 на п'єзобатарею 5, яка перетворює відбиті механічні хвилі ультразвукової частоти в електричні коливання цієї ж частоти. Даний електричний сигнал підсилюється підсилювачем 7 і за допомогою нормуючого перетворювача 8 приводиться до стандартної величини. Останній спрямовується на вхід мікроконтролера 9, який на основі різниці Δt виміряного часу t_1 (прямого) і t_2 (зворотного) проходження ультразвукового променя і відомої швидкості v ультразвуку у ґрунті, визначає відстань S до перешкоди ($S=v\Delta t/2$), а по інтенсивності відбитого сигналу – природу перешкоди. Виходячи з цього, мікроконтролером 9 формується командний електричний сигнал, який надходить до виконавчого механізму 11. Останній змінюючи кут повороту засувки, задає відповідний тиск енергоносія, чим зумовлюється необхідна сила дії носової частини на перешкоду та сила фіксації еластичної оболонки задньої камери 15. Це забезпечує гарантоване долання реактивних сил опору перешкод і стабілізацію траєкторії руху.

В якості об'єкта автоматизації надзвичайно перспективним виглядає принципово нове технічне рішення ПРП (рис. 6).

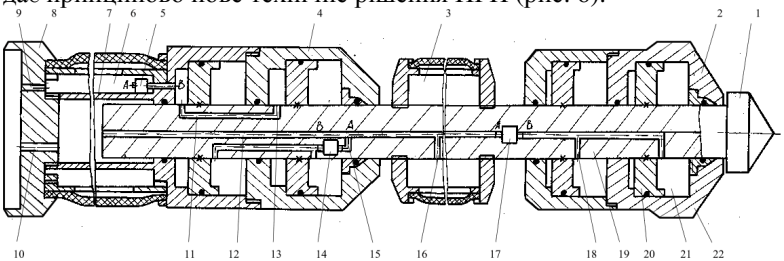

Рис. 6. Газорідинний ПРП з носовою частиною двотактної дії та вузлами затримки робочого тіла: 1, 2 – конус і зрізаний конус носової частини; 3 – гідропневматична камера передня; 4 – гідропневмодвигун задній; 5, 14, 17 – вузли затримки робочого тіла; 6 – гідропневматична камера задня; 7 – циліндр ізолюючий; 8 – хвостовик з каналами 9 та 10; 11, 12 – канали гідропневмодвигуна; 13, 15, 16, 18 – радіальні отвори; 19 – шток; 20 – поршень; 21 – силовий модуль; 22 – гідропневмодвигун передній

Останньому, порівняно з попередніми, притаманним є суттєво більші технічні можливості і відповідно ширший спектр застосування. Даний пристрій оснащено носовою частиною двотактної дії, рухомі елементи 1 і 2 якої почергово деформуючи ґрунт, формують циліндри-

чну порожнину необхідного діаметру, що зумовлює зменшення сили опору його руйнування та підвищення прохідної здатності.

Оскільки роботи пов'язані з розробленням теоретичних основ взаємодії такого типу пристроїв з ґрунтом, відповідних автоматичних систем керування і пошуку можливих джерел живлення не завершені, то на рис. 6 наведено тільки його загальний вигляд і названо позиції лише деяких конструктивних складових.

Висновки. В даній роботі розглянуто три різновиди ПРП: штокопоршневі, прямоточні, з пружним акумулятором енергії та носовою частиною двотактної дії, найпростіші автоматичні системи їхнього керування й підходи до інтелектуалізації. Отримані результати наштовхнули на думку необхідності створення технічних рішень швидкісних пристроїв, наприклад реактивних, точніше турбореактивних з одночасною активізацією їх робочих органів (носової частини). Такі керовані пристрої багатоцільового призначення здатні працювати як автономно, так і сукупно з черв'якоподібними ПРП. Це набагато підвищить ефективність таких комплексів, сферу їхнього застосування та збільшить радіус дії без необхідності поповнення енергоресурсом як у звичайних, так і нетрадиційних умовах.

1. Кованько В. В. Біомеханічні основи створення підземно рухомих пристроїв підвищеної ефективності : монографія / В. В. Кованько. – Рівне : НУВГП, 2011. – 198 с. **2.** Устройство для проходки скважин в грунте: А.с. 1218003 СССР. / Г. А. Хайлис, В. В. Кованько, В. Д. Пасечник (СССР). – Опубл. 15.03.86, Бюл. № 10. **3.** Устройство для проходки скважин в грунте: А.с. 1268677 СССР / Г. А. Хайлис, А. П. Гироль, В. В. Кованько, М. П. Скоблюк, Р. Ф. Мазитов, В. Д. Пасечник (СССР). – Опубл. 07.11.86, Бюл. № 41. **4.** Пат. 2039168 Российской Федерации, МКИ E02F 5/18. Устройство для проходки скважин в грунте / В. В. Кованько, Б. А. Баховец. – Опубл. 09.07.95, Бюл. № 19. **5.** Пат. 2026478 Российской Федерации, МКИ E02F 5/18. Устройство для проходки скважин в грунте / Б. А. Баховец, В. В. Кованько, В. В. Лелявский, М. А. Семенюк. – Опубл. 10.01.95, Бюл. № 1. **6.** Деклараційний пат. 10111 України на корисну модель, E02F5/18 Пристрій для утворення порожнин у ґрунті / Куцин М. М., Древецький В. В., Кованько В. В. – Опубл. 15.11.05, Бюл. № 11. **7.** Хайлис Г. А., Кованько В. В. Теоретические основы действия самодвижущегося устройства для проходки скважин в грунте //Сільськогосподарські машини : зб. наук. статей. – Луцьк, 2000. – С. 175-180. **8.** Кованько В. В. Багатоступінчастий газорідинний штокопоршневий підземнорухомий пристрій з двома гальмівними камерами // Вісник Рівненського державного технічного університету. Гідромеліорація та гідротехнічне будівництво : зб. наук. праць, спец. випуск. – Рівне, 1999. – С. 315-321. **9.** Кравець С. В. Вплив швидкості на форму та силу опору носової частини підземнорухомих пристроїв / Кравець С. В., Кованько В. В. // Вестник Харьковского националь-

ного автомобильно-дорожного университета : сб. научн. трудов.– Харьков, 2007. – Вып. 38. – С. 101-104. **10.** Кравець С. В. Обґрунтування деяких параметрів системи ґрунт-фіксуюча камера підземнорухомих пристроїв / Кравець С. В., Кованько В. В. // Вісник Національного у-ту водного господарства та природокористування : зб. наук. праць. – Рівне, 2007. – Вип. 3(39). – С. 226-233. **11.** Кованько В. В. Результати дослідження експериментального зразка чотириступінчастого газорідинного штокопоршневого підземнорухомого пристрою / В. В. Кованько // Вісник Рівненського державного технічного університету : зб. наук. праць. – Рівне, 2000. – Вип. 1(3). – С. 166-171. **12.** Кованько В. В. Керування курсом підземнорухомого пристрою в режимі прямолінійного переміщення / В. В. Кованько // Вісник НУВГП : зб.наук праць. – Рівне, 2008. – Вип. 4(44). – С. 187-192. **13.** Патент на корисну модель (Україна) № 67860. Підземнорухомий пристрій з автоматичним керуванням дискретним переміщенням / О. В. Кованько (НУВГП).– Опубл. 12.03.2013, Бюл. № 5. **14.** Патент на корисну модель (Україна) № 77194. Пристрій для переміщення в лінійно-протяжних об'єктах і ґрунті / В. В. Кованько, В. В. Древецький, О. В. Кованько (НУВГП).– Опубл. 11.02.2013. Бюл. № 3.

Рецензент: д.т.н., професор Филипчук В. Л. (НУВГП)

Kovanko V. V., Doctor of Engineering, Professor, Drevetskyi V.V., Doctor of Engineering, Professor, Kovanko O. V., Post-graduate Student (National University of Water Management and Nature Resources Use, Rivne)

CREATION,DEVELOPMENT AND INTELLECTUALIZATION OF MULTI-PURPOSE UNDERGROUND MOVING DEVICES

Principles and some technical decisions of energy-saving bionic synthesized underground moving devices with increased efficiency are shown. The possible ways of the further researching, upgrading and intellectualization where analyzed. The decision about the availability of such devices for underground building, energetics, and agriculture was made. Aldo these devices would be useful for underground monitoring even in military use.

Keywords: **underground moving device, automatic and manual control, ultrasound beam, energy source.**

Кованько В. В., д.т.н., профессор, Древецкий В. В., д.т.н., профессор, Кованько О. В., аспирант (Национальный университет

водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

ПОДЗЕМНОДВИЖУЩИЕСЯ УСТРОЙСТВА МНОГОЦЕЛЕВОГО НАЗНАЧЕНИЯ – СОЗДАНИЕ, РАЗВИТИЕ, ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ

Приведены технические решения и принципы действия некоторых вариантов энергосберегающих бионически-синтезированых подземнодвижущихся устройств повышенной эффективности. Проанализированы возможные пути их дальнейшего развития, усовершенствования и интеллектуализации. Сделан вывод относительно перспективности применения таких устройств в подземном строительстве, энергетике, сельском хозяйстве, в качестве технических средств мониторинга подземного пространства и Государственной границы Украины по глубине.

Ключевые слова: **подземнодвижущееся устройство, командный электрический сигнал, автоматическое и ручное управление, энергоноситель, ультразвуковой луч.**