

Фізичні аспекти прояву зворотного зв'язку та авторегулювання форми знаряддя в системі «знаряддя-грунт»

В статті описані фізичні явища в скибі ґрунту при її деформуванні ґрунтообробним знаряддям, що приводять до формування «проміжних тіл» з ґрунту. «Проміжні тіла» та їх поверхні формуються відповідно до закону прагнення до мінімальної нерівномірності напруження та енергії в системі та фактично виконують роль робочої поверхні знаряддя. Таким чином, ґрунт змінює форму знаряддя, здійснюється зворотний зв'язок та авторегулювання форми у системі «знаряддя-грунт». Наведені приклади зразків техніки, що ілюструють теоретичні положення.

розпушувач ґрунту, проектування, енергомісткість процесу, деформування ґрунту, властивості ґрунту, зворотний зв'язок, авторегулювання форми

Проблема збереження ресурсів в аграрному виробництві в наш час набуває особливу актуальність. Один з елементів технології ресурсозбереження – адаптивне керування технологічними процесами та знаряддями в залежності від стану оброблюваного середовища з метою забезпечення агротехнічних вимог та отримання врожаю з мінімальними витратами ресурсів.

Пристосування знаряддя до умов роботи, що змінюються, шляхом регулювання його параметрів – відомий прийом підвищення ефективності. Процес пристосування – адаптивного управління – може відбуватися як в ручному, так і в автоматичному режимах. Регулювання параметрів знаряддя може проводитись, наприклад, залежно від глибини обробки ґрунту, тягового опору, швидкості руху агрегату, ступеня буксування трактора і інших параметрів. При цьому, як правило, піддається зміні ширина захвату кожного робочого органу, або кут постановки його частин, або навантаження на рушії трактора для забезпечення заданої продуктивності, тягової потужності, ступеня буксування тощо. Процес регулювання пов'язаний з аналізом умов та параметрів роботи агрегату і може відбуватися як авторегулювання. Зворотний зв'язок в системі «енергозасіб - знаряддя - ґрунт» здійснюється через вимірювально-логіко-виконавчий пристрій, і Людина при цьому або виконує всі перераховані функції, або делегує частину їх машині.

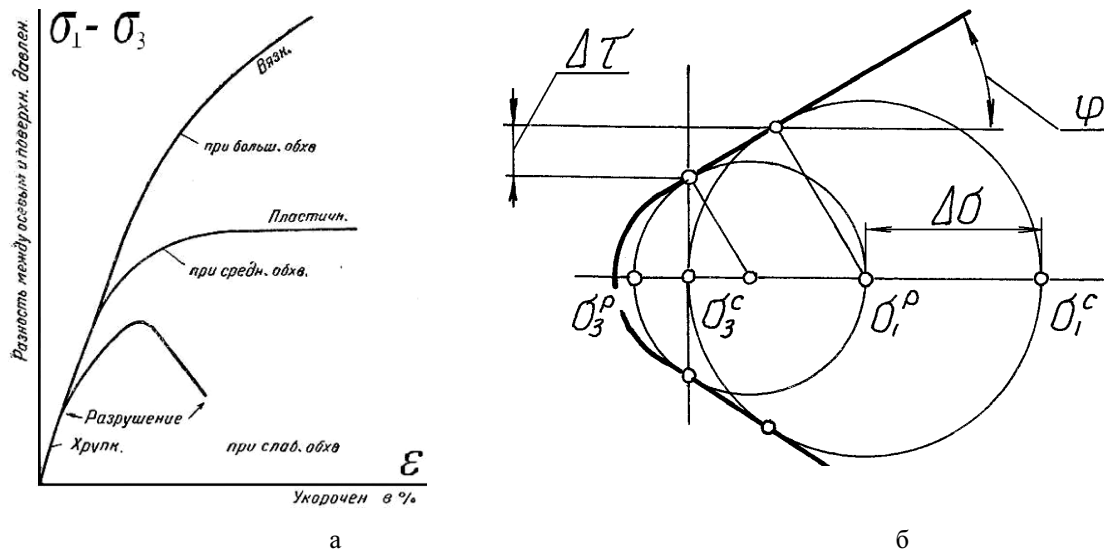
Наприклад, відоме ґрунтообробне знаряддя (полицевий плуг), виконане з можливістю ручної зміни форми полиці [1]. Також відоме знаряддя конструкції «БІМСХ» та «ГСКБ «Одесапочвомаш»», що має систему автоматичного регулювання форми плужних корпусів [2, 3]. Система передбачає зміну кута установки крила полиці до стінки борозни в діапазоні $45^\circ \div 37^\circ$ (до напрямку руху) залежно від робочої швидкості агрегату в діапазоні 6÷12 км/год з метою збереження оптимальних показників роботи.

У перерахованих пристроях логіка необхідних змін форми знаряддя реалізується людиною або по алгоритму, виробленому на підставі вивчення процесу [2]. У той же час відомо, що, по загальному закону, фізична (механічна) система прагне до мінімуму напруги і енергії в ній. Таке «прагнення» можливо розглядати як процес внутрішнього природного авторегулювання системи. Виникає питання щодо механізму такого регулювання в системі «енергозасіб - знаряддя - ґрунт» наявності і механізму зворотного зв'язку. У такій постановці питання в даний час мало вивчене.

Метою дослідження є з'ясування фізичної сторони процесів природного регулювання форми при взаємодії розпушуючого знаряддя і ґрунту.

Розглянемо деякі явища і процеси, що виникають в шарі ґрунту при деформації його клином.

Важливий аспект процесу деформації ґрунту пов'язаний з особливостями його міцнісних властивостей. А саме, ґрунт, при різних поєднаннях головних нормальних напруг, може проявляти властивість як крихкості, так і пластичності, а саме руйнування може відбуватися при різних значеннях головних напруг. Цю особливість властивостей ґрунту видно по діаграмі Кулона-Мора та діаграмі деформації ґрунту в координатах відносної деформації ε і різниці головних нормальних напруг $\sigma_1 - \sigma_3$ навантаження ґрунту (рис. 1) [4, 5].



а – діаграма відносної деформації ε ґрунту в залежності від різниці головних напруг $\sigma_1 - \sigma_3$ [4, с. 542];

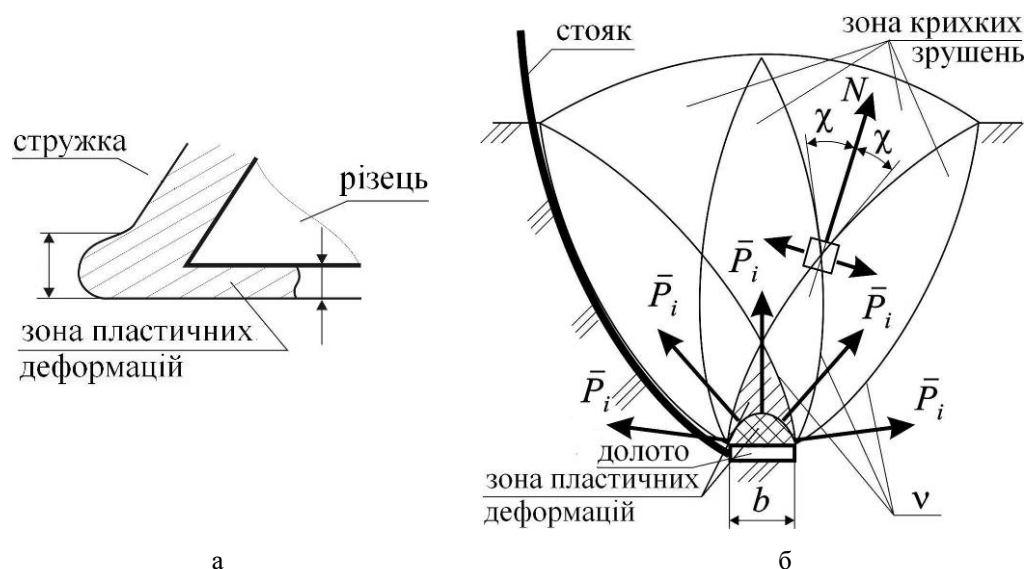
б – діаграма Кулона-Мора, де: σ_1 , σ_3 – головні нормальні напруги; $\Delta\tau$, $\Delta\sigma$ – різниця напружень руйнування при двовісному розтягуванні-стисканні та одновісному стисканні ґрунту; φ – кут внутрішнього тертя ґрунту [5, С. 10]

Рисунок 1 – Моделі міцнісних властивостей ґрунту

На думку А.С. Кушнарева: «Від геометрії робочого органу залежить розподіл тиску на межі робочий орган - ґрунт і, отже, поля напруги і деформації. Відповідно до повної моделі реології ґрунту в першій фазі деформації деякий його об'єм ущільнюється, після чого відбувається пластична течія по поверхнях ковзання (друга фаза деформації). Якщо геометрія робочого органу невдала, то в першій фазі великий об'єм ґрунту зазнає значного ущільнення, що збільшує енергоємність обробки ґрунту і сприяє утворенню великих переущільнених глиб і ущільненню дна борозни» [6].

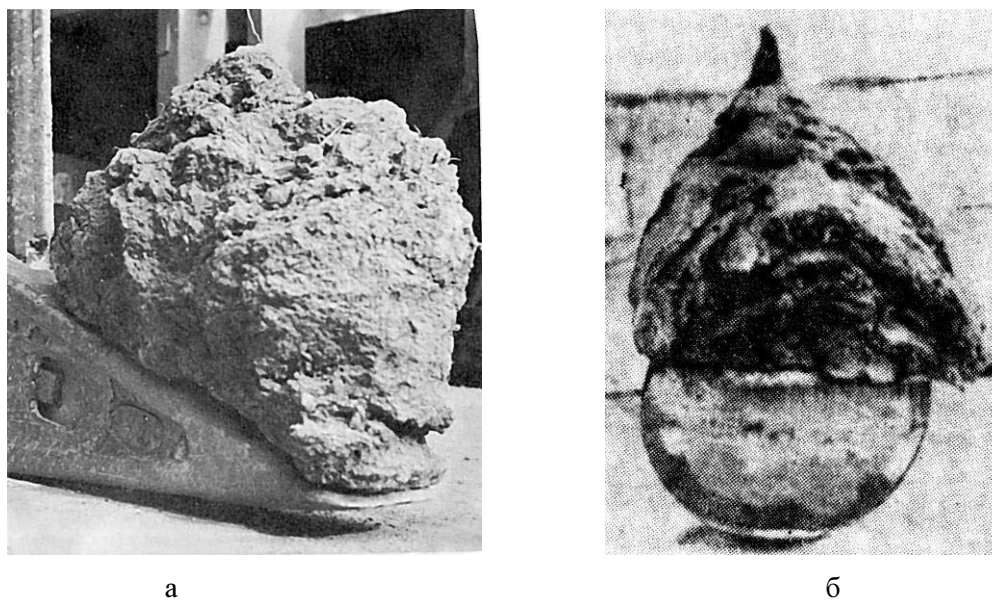
Процес пластичного ущільнення і течії по поверхнях ковзання може бути розділений не тільки за часом, тобто по «фазах деформації», але і в просторі – як зони деформацій. Одна зона – зона пластичних деформацій (прилягає до робочої поверхні знаряддя), інша зона – зона зсувних деформацій з ознаками «крихкого» руйнування (рис. 2) [7, 8]. Тут термін «крихке» руйнування застосовується, щоб показати відмінність в характері стану зон пласта ґрунту. Для ґрунту більш підходить термін «руйнування з ознаками крихкості». Зона пластичних деформацій (пластичної течії), прилегла до робочої поверхні знаряддя, може виявлятися і фіксуватися як наріст з переущільненого ґрунту (рис. 3) [9, 10]. По словах М.Ю. Мацепуро і К.А. Пілкаускас

після формування ущільненого ядра: «процес різання ґрунту змінюється, оскільки робочою поверхнею стає не площина заточування, а поверхня ущільненого ядра» [10, С. 225].



а – у поздовжньому перетині [7]; б – у поперечному перетині при роботі долота [8]

Рисунок 2 – Вигляд зон пластичних та крихких деформацій ґрунту



а – глибокорозпушувача [9]; б – дренера [10]

Рисунок 3 – Вигляд наростів з ґрунту на робочих поверхнях ґрунтообробних знарядь:

Узагальнено можна сказати, що між робочою поверхнею знаряддя і рештою об'єму скиби **утворюється «проміжне тіло»**, зовнішня межа якого виконує функцію робочої поверхні знаряддя (рис. 3, 4).

Г.М. Синеоков, А.М. Гудков та інші відзначали явище розшарування пласта під дією клиноподібного знаряддя (рис. 5) [12, 13]. Це явище можна розглядати як процес зняття напруги в пласті, оскільки унаслідок різної довжини шляху, який проходять частини пласта різновіддалені від робочої поверхні знаряддя, виникають напруги і деформації зрушення. Власне саме явище кришення скиби ґрунту під дією клину – це процес зняття надмірної напруги в скибі. Шар ґрунту, розташований ближче до робочої

поверхні знаряддя, діє на більш віддалені шари як проміжна робоча поверхня. Кришення скиби відбувається як деформація зрушення і відриву унаслідок відмінності в міцності ґрунту на стискання, зрушення і розтягання, і таким чином при кришенні виявляються особливості міцнісних властивостей ґрунту. Ці процеси узагальнено розглянуті в нашій монографії [14, С. 99–116].

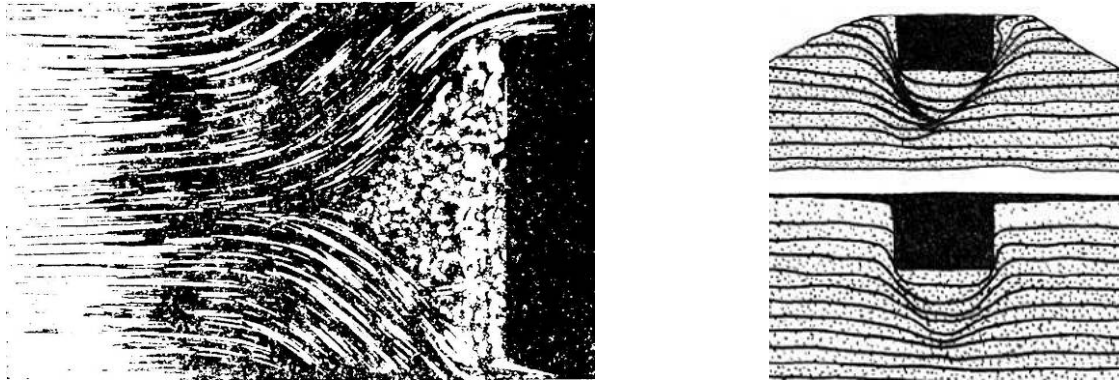
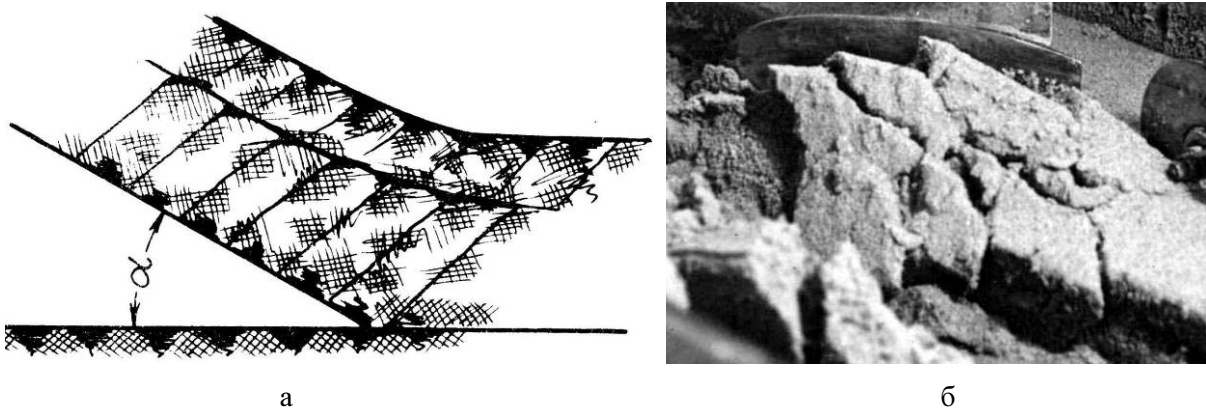


Рисунок 4 – Вигляд «проміжних тіл» з ґрунту [11]



а – по А.М. Гудкову [13]; б – по Г.М. Синеокову [12]

Рисунок 5 – Вигляд деформування скиби ґрунту розшаруванням:

Таким чином, скиба ґрунту, унаслідок особливостей властивостей ґрунту, ділиться на дві зони деформацій – зона ґрунту в стані пластичності і зона ґрунту в стані крихкого руйнування. Поверхня розділу цих зон стає робочою поверхнею для частини скиби, а процес формування цієї поверхні може бути розцінений як процес авторегулювання і прояв зворотного зв'язку в системі. При цьому **вимірюючим і виконуючим пристроями є частина ґрунту скиби**. Явище кришення скиби, явище розшарування скиби, явище наростоутворення – це явища природної адаптації системи «знаряддя - ґрунт» до умов роботи. Процеси у перерахованих явищах мають динамічний, циклічний характер, що зокрема виявляється у вигляді відомого колювання значення тягового опору знаряддя.

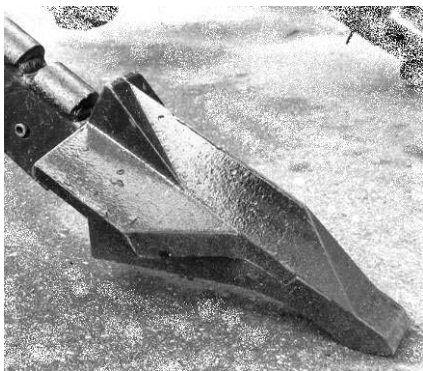
При формуванні «проміжного тіла» в скибі, тертя ґрунт-метал замінюється більш енергомістким тертям ґрунт-ґрунт. Практично, при виконанні робочої поверхні знаряддя у формі, що імітує форму «проміжного тіла» (наросту) в пласті, повинне спостерігатися зниження енерговитрат і зниження частки ґрунту, що розпорошується унаслідок пластичних деформацій. Такий висновок підтверджується тенденцією останніх років у формах робочих поверхонь знарядь для розпушування ґрунту, що випускаються провідними виробниками (рис. 6) [15, 16].



а



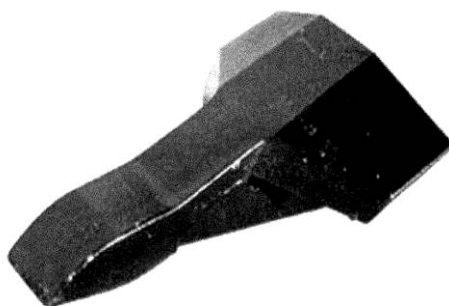
б



в



г



д

а – фірми CASE IH [виставка «АГРО 2008», Київ]; б – фірми John Deere [15]; в-д – фірми WIL-RICH [16].

Рисунок 6 – Приклади виконання форми розпушувачів ґрунту, імітуючих форму «проміжного тіла» в ґрунті у серійних знаряддях

На підставі вище викладеного можна зробити наступні **висновки**.

Проблема зниження витрат при ґрунтообробці може вирішуватися адаптацією параметрів і форми знаряддя до ґрунтових умов та режимів роботи, що змінюються. Окрім відомого в техніці штучного управління формою і параметрами ґрунтообробного знаряддя, існують природні процеси адаптації і саморегулювання в системі «знаряддя - ґрунт».

Природна адаптація форми знаряддя в системі «знаряддя - ґрунт» відбувається завдяки властивостям ґрунту і явищам, що виникають в пласті, а саме:

- явище кришення ґрунту;
- явище пошарових зрушень у скибі;
- явище утворення двох зон у скибі ґрунту з різним характером деформацій – пластичних і крихко-пружних, що зокрема проявляється як нарістоутворення.

Ці явища коригують форму знаряддя та виконують роль зворотного зв'язку, що реалізує закон прагнення до рівномірного розподілу напружень та енергії в системі.

Виконання форми робочої поверхні знаряддя за формою проміжного тіла в ґрунті – реальний і перспективний спосіб зниження енерговитрат на процес розпушення ґрунту. Інший спосіб зниження енерговитрат – побудова форми робочої поверхні знаряддя за принципом динамічного відображення деформацій скиби, що буде розглянуто у наступних публікаціях.

Список літератури

1. Пат. 2028819 US, Cl. 97 - 124. Breaking plow / Rau E. – № 15688; Заявл. 10.04.1935; Оpubл. 28.06.1936.
2. Лептеев А.А. Изыскание и исследование схем и конструкций плугов с регулируемой шириной захвата: отчет о НИР / А.А. Лептеев, А.Н. Мигаль, Ю.В. Радоман и др. // Белорус. ин-т мех. с.-х.; ГСКБ «Одессапочвомаш». – Минск; Одесса, 1980. – 117 с.
3. Протокол № 7-5-79В (9018100) ведомственных испытаний 4-х корпусного навесного плуга с автоматическим регулированием параметров плужных корпусов: протокол испытаний / Западная МИС. – пос. Привольный, 1979. – 103 с.
4. Горячкин В.П. Теория разрушения материалов (фрагмент из рукописи «Общая теория орудий») / В.П. Горячкин // Собр. соч.: в 3 т. – М.: Колос, 1965. – Т.1. – С. 525–546.
5. Ветохин В.И. Проектирование форм рабочих поверхностей рыхлителей почвы на основе принципа отображения рациональных деформаций пласта / В.И. Ветохин // Науч.-техн. достижен. и передовой опыт в области с.-х. и тракторн. маш-я: сб. Сельскохозяй. машины и орудия. – М.: ЦНИИТЭИ тракторосельхозмаш, 1992. – Вып. 2-3. – С. 9–22.
6. Кушнарев А.С. Механико-технологические основы обработки почвы / А.С. Кушнарев, В.И. Кочев. – К.: Урожай, 1989. – 140 с.
7. Ветохін В.І. Проектування глибокорозпушувачів з урахуванням деяких аспектів деформування ґрунту / В.І. Ветохін // Техніка в с.-г. виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. пр. Кіровоград. нац. техн. ун-ту. – Кіровоград: КНТУ, 2008. – Вип. 20. – С. 104–109
8. Кузнецов В.Д. Физика твердого тела. Материалы по физике резания металлов: в 4 т. / В.Д. Кузнецов – Томск: Красное знамя, 1944. – Т.3. – 742 с.
9. Gill W.R. Soil dynamics in tillage and traction / W.R. Gill. – Washington: Agricultural Research US department of Agriculture, 1976.
10. Мацепуро М.Е. Изменение сил, действующих на дреномер, в зависимости от его параметров / М.Е. Мацепуро, К.А. Пилкаускас // Вопросы земледельческой механики. – Минск: Госиздат БССР, 1960. – Т.3. – С.211–274.
11. Пигулевский М.Х. Основы методики изучения физико-механических свойств почвы / М.Х. Пигулевский. – М.: Изд. ЛОБИУА ВАСХНИЛ, 1936.
12. Синеоков Г.Н. Сопротивления почвы, возникающие при ее обработке: дис. на соиск. уч. степ. докт. техн. наук: в 2 т. / Г.Н. Синеоков; АН СССР; Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева. – М., 1954. – Т.1. – 166 с.
13. Гудков А.Н. Теоретические основы вспашки твердых почв / А.Н. Гудков // Усовершенствование орудий для основной обработки почвы: матер. НТС ВИСХОМ – М.: ОНТИ ВИСХОМ, 1959. – Вып. 5. – С. 212–241.
14. Панов И.М. Физические основы механики почв: монография / И.М. Панов, В.И. Ветохин. – К.: Феникс, 2008. – 266 с.
15. 2100 Minimum Till Ripper: Min-till and low disturbance ripper points: [Електронний ресурс] / Фірма John Deere. – Режим доступу: http://www.deere.com/en_US/ProductCatalog/FR/category/FR_TILLAGE.html.
16. Wil-Rich 957 DDR Ripper [Електронний ресурс] / Фірма WIL-RICH. – Режим доступу: <http://www.wil-rich.com/rippers/957-manuals.asp>.

В статье описаны физические явления в пласте почвы при его деформировании рыхлительным орудием, которые приводят к возникновению «промежуточных тел» из почвы. «Промежуточные тела» фактически выполняют функцию рабочей поверхности орудия. Таким образом, почва изменяет форму орудия и осуществляется обратная связь и авторегулирование в системе «орудие-почва». Приведены примеры образцов техники, иллюстрирующие теоретические положения.

In the article the described physical phenomena in the layering of soil at its deformation of soil loosen instrument, which result in forming of «intermediate bodies» from soil. «Intermediate bodies actually execute the function of working surface of instrument. Thus, soil changes the form of instrument and a feed-back and auto patching of form is carried in the system «instrument-soil». The examples of standards are resulted techniques, illustrating theoretical positions.