

DOI: 10.36910/6775-2524-0560-2019-36-6

УДК 622.232.8

Каганюк О.К., Міскевич О.І., Поліщук Т.О.

Луцький національний технічний університет.

АНАЛІЗ СПОСОБІВ КОНТРОЛЮ РОЗДІЛУ КОРДОНУ «ПОРОДА – ВУГІЛЛЯ» ДЛЯ СТВОРЕННЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ ВУГІЛЬНО ВИДОБУВНИМ КОМБАЙНОМ.

Каганюк О.К., Поліщук Т.О., Міскевич О.І. Аналіз способів контролю розділу кордону «порода – вугілля» для створення систем автоматичного управління вугільно видобувними комбайнами. В даній статті проводиться аналіз способів контролю поділу кордону «порода – вугілля», які можуть бути використані для будови оптимальних систем автоматичного управління вугільно видобувними комбайнами.

Ключові слова: вугільно видобувний комбайн, система автоматичного управління, датчики контролю розділу кордону «порода – вугілля».

Каганюк А.К., Полищук Т.О., Мискевич О.И. Анализ способов контроля границы раздела «порода – уголь» для создания оптимальных систем автоматического управления угледобывающими комбайнами. В данной статье проводится анализ способов контроля границы раздела «порода – уголь», которые могут быть использованы для построения оптимальных систем автоматического управления угледобывающими комбайнами.

Ключевые слова: угледобывающий комбайн, система автоматического управления, датчики контроля границы раздела «порода – уголь».

Kaganyuk A.K., Polishchuk T.O., Miskevych O. Analysis of methods for controlling the “rock - coal” interface to create optimal automatic control systems for coal mining combines. This article analyzes methods for controlling the “rock-coal” interface that can be used to build optimal automatic control systems for coal miners

Key words: coal mining combine, automatic control system, sensors for monitoring the “rock - coal” interface.

Одним із основних шляхів підвищення продуктивності праці і інтенсивності виробництва вважається автоматизація технологічних процесів, впровадження промислових роботів та маніпуляторів, що є найбільш **актуальною проблемою** в вугільній промисловості, коли не вистачає вугілля для підтримки працездатності теплових електростанцій, та забезпечення населення.

Сучасні вимоги до систем автоматичного управління забійним обладнанням припускають рішення **проблеми** інтенсивного і високопродуктивного видобутку вугілля без постійної присутності людини у забої.

Однією із важливих підсистем управління є автоматичне управління вугільно видобувним комбайном у профілі пласта. До цього часу ця задача не є вирішеною, що ставить неможливим виведення машиніста із лави. Необхідність постійного нагляду за процесом різання і положенням ріжучих органів (РО) по висоті захвату, передбачає постійне перебування машиніста комбайна в зоні підвищеної небезпеки.

Автоматизація виїмкових машин в очисних вибїях вугільних шахт вимагає створення методів і засобів безперервного спостереження за рельєфом пласта, що забезпечують виїмку пласта на повну потужність з мінімальними підриванням порід, що вміщують. Джерелом оперативної інформації про товщину вугільної пачки являється засіб контролю границі «порода-вугілля», які використовуються в системах автоматичного управління вугільно видобувними комбайнами в профілі пласта (САУ ПП) [2,3,6], В якості такого способу застосовуються різного типу датчики «порода-вугілля». Пристрої, які призначені для контролю кордону порода - вугілля, називаються датчиками порода - вугілля (ДПВ), які розміщуються на ріжучих органах (РО) виїмкових машин або безпосередньо на його ріжучому інструменті.(8, 13)

Розрізняють контроль відкритої і прихованої кордону порода –вугілля.(1,5,7,8,10,11) У першому випадку контроль забезпечує отримання інформації про рельєф пласта шляхом вимірювання фізичних властивостей оголюючи вміщуючи породи і вугілля в забої і встановлення їх відмінностей. Такий контроль дозволяє забезпечувати заданий режим управління роботи ріжучих органів виїмкового обладнання та визначати потужність вугільного пласта, який розробляється в даний час. При контролі прихованого кордону рельєфу вугільного пласта, встановлюється шляхом вимірювання товщини залишеної в ґрунті або покрівлі очисної виробки вугільної пачки.

В ДПУ використовуються різні властивості і ефекти взаємодії виконавчого органу машини з гірською породою. Відомі принципи побудови датчиків, засновані на відмінності в електричних, діелектричних, щільності, оптичних і акустичних властивостях, хімічному складі, природної радіоактивності вугілля і порід, що вміщують, у взаємодії виконавчого органу з породою і вугіллям (1,7,8,10,11).

Особливості взаємодії ріжучого органу з породою і вугіллям покладені в основу побудови електромеханічних і механоакустичних датчиків.

Електромеханічні датчики (10) припускають вимір зусилля різання, яке можна вважати пропорційним контактної міцності вугілля або породи. Воно реєструється чутливим елементом датчика, встановленим на спеціальному вимірювальному різці. За значенням отриманого сигналу можна судити про стан вимірювального різця щодо кордону порода - вугілля. У ряді випадків інформацією про становище цієї межі служить результуючий сигнал, що порівнює осьову і тангенціальну складові, який впливає на вимірювальний різець зусилля різання.

У механоакустичних датчиках використовується ефект коливального відгуку на механічне взаємодія різця з вугіллям або породою. При цьому вимірюються високочастотна складова зусилля різання і декремент загасання пружних коливань вимірювального різця, який розглядається як пружна коливальна система з зосередженими параметрами. Якщо припустити, що реальний процес різання (особливо при малій товщині стружки) апроксимується імпульсним процесом, що представляє собою випадкову послідовність трикутних імпульсів, то зіставлення спектральних щільностей сигналів в певному діапазоні частот цього процесу при різному співвідношенні середніх тривалостей імпульсів, що відповідають різанню вугілля і породи, дозволяє визначити положення кордону порода - вугілля щодо вимірювального різця.

При вимірі декремента загасання пружних коливань різця виділяються в основному низькі частоти (до 1 кГц), а реєстрація і зіставлення амплітудних спектрів процесу різання вугілля і породи здійснюються в області частот 1-100 кГц. У першому випадку в якості чутливого елемента використовують дротяні датчики опору(10), а в другому - п'єзо перетворювачі, що встановлюються на вимірювальному різці. Для зниження впливу перешкод на результати вимірювань робочий діапазон частот приймають рівним 20-40 кГц.

В ДПВ, заснованих на різниці щільності і хімічного складу вугілля і порід, що вміщують, використовуються джерела іонізуючого випромінювання. Такі датчики називаються радіоізотопними (1,4,5,8).

У радіоізотопних ДПВ переважно застосовується гамма-гамма-випромінювання. Вихідний сигнал зазначених датчиків представляється у вигляді частоти проходження електричних імпульсів або швидкості рахунку, пропорційної числу гамма-квантів, які реєструються. Частишки, що випускаються джерелом γ -квантів, потрапляють на тришаровий (вугільний штиб - вугілля - порода) або двошаровий (вугілля - порода) розсіювач, а потім реєструються детектором, який перетворює щільність потоку розсіяного випромінювання в імпульси (1). У загальному випадку реєструється щільність потоку залежить від деяких постійних і змінних параметрів, а також повітряного зазору. До постійних параметрів належать база вимірювань, енергія первинного випромінювання, активність джерела, активна щільність детектора, показник ефективності реєстрації, до змінних - ефективні атомні номери, щільність і товщина шарів вугільного штибу, вугілля і породи (рис 1).

Залежно від, енергії E_γ первинного гамма-випромінювання змінюється фізичний ознака розпізнавання об'єкта.

Дана обставина використовується для підвищення чутливості і глибини вимірювання. Так, при застосуванні джерела з енергією $9,6 \cdot 10^{-15}$ Дж (^{241}Am) вугілля та порода будуть відрізнятися в першу чергу з масового коефіцієнту ослаблення μ гамма-випромінювання. При енергії же $E_\gamma \geq 2,4 \cdot 10^{-14}$ Дж (наприклад, для $^{75}\text{Se} = E_\gamma = 3,52 \cdot 10^{-14}$ Дж) відмінність в масовому коефіцієнті ослаблення зникає і чутливість до хімічним складом зберігається при багаторазовому розсіянні випромінювання.

З енергією первинного гамма-випромінювання пов'язана також глибинність вимірювання $h_{0,9}$. Під нею розуміється товщина вугільної пачки, через яку на детектор приходить 90% розсіяних гамма-квантів.

Глибинність вимірювання при реєстрації одноразово розсіяних гамма-квантів може наближено перебувати за формулою

$$h_{0,9} = 2,3 [\rho (\mu + \mu')]]$$

де ρ - щільність середовища; μ , μ' - масовий коефіцієнт ослаблення відповідно первинного і розсіяного на 180° випромінювання гамма-квантів.

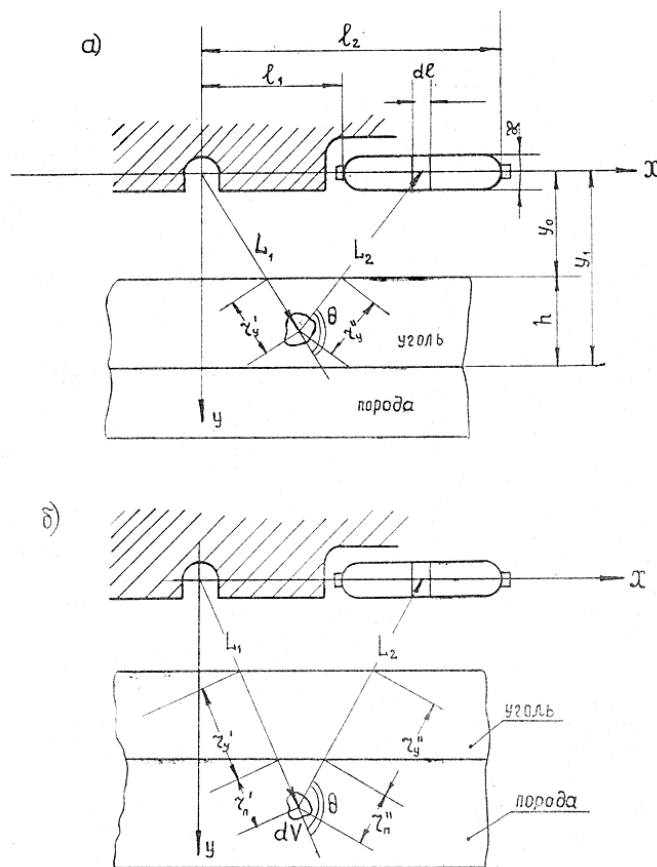


Рисунок 1 – Вивід загальних закономірностей розсіювання γ -випромінювання в двошаровому середовищі: а) вугілля, б) порода.

Так, при низькоенергетичному випромінюванні джерелом ^{241}Am глибинність досліджуваної вугільної пачки становить близько 50 мм; при збільшенні енергії-випромінювання в 10 разів глибинність підвищиться до 180 мм.

Чутливість ДПВ S_n з джерелом випромінювання високих енергій в залежності від товщини вугільної пачки наближено можна визначити за формулою

$$S_n = 0,9S_p \Delta\rho / h_{0,9}$$

де S_p - чутливість ДПУ до густини; $\Delta\rho$ - різниця середніх щільності породи і вугілля.

При використанні джерела випромінювання низьких енергій слід враховувати суму чутливості до щільності, зольності, вмісту заліза.

При виборі конструктивних параметрів радіоізотопних ДПВ виходять з реальних умов експлуатації:

- типу забійного обладнання;
- прийнятої технології очисної виїмки і гірничо-геологічних умов залягання вугільного пласта.

Так, необхідна глибинність вимірювань залежить від того, виймається чи пласт на повну потужність або залишається запобіжна вугільна пачка. Відповідно до цього змінюється необхідна енергія джерела випромінювання, а отже, і габарити датчиків, як видно із рис. 1. Якщо радіоізотопний ДПВ передбачається розмістити у виконавчому органі виїмкових машин, то такий засіб розміщення, потребує необхідний захист джерела випромінювання від механічних пошкоджень або безконтактний спосіб вимірювання.

Важливим фактором є правильний вибір бази ДПВ. Її збільшення сприяє зростанню вкладу в реєструвану інтенсивність випромінювання гамма-квантів низьких енергій і підвищенню тим самим глибини і диференційної здатності вимірювань. Однак підвищення глибини обмежена тим, що детектор в цьому випадку реєструє в основному випромінювання, яке розсіяне в при поверхневому шарі.

Розробка безконтактних радіоізотопних ДПВ ведеться за двома напрямками. Перше з них передбачає створення малогабаритних ДПВ (2) з джерелами гамма - випромінювання низьких енергій,

які дозволяють вести ефективний контроль по відмінності хімічного складу і щільності вугілля і породи.

Друге - розробку ДПУ з джерелами випромінювання високих енергій, що забезпечують розпізнавання вугілля і породи за їх щільності.

Схема управління шнеками комбайна за допомогою радіоізотопного ДПВ приведена на рис. 2. Апаратура включає два однакових цифрових регулятора з загальними блоками управління, комутації та живленням. Кожен регулятор призначений для управління становищем одного шнека щодо ґрунту або покрівлі пласта і складається з встановлених на шнеку ДПВ 1 з джерелом випромінювання 2 і блоком детекторів 3, шнекового блоку 4 з автономним джерелом живлення 5 і передавальною котушкою індуктивності 6, розміщених на корпусі комбайна прийомних блоків 8 і 10 з котушками індуктивності 7 і 9, блоку управління 11, блоку комутації 12 і блоку живлення (на малюнку не показаний). Радіоізотопний ДПВ розташований на шнеку між кулаками-резцедержателя таким чином, що його робоча поверхня втоплена щодо поверхні кулаків не менше ніж на 10 мм. Це забезпечує роботу ДПВ без безпосереднього контакту з контрольованим масивом.

Пучок гамма-випромінювання від джерела по радіусу шнека направляєється у бік масиву. Відбита від масиву частина випромінювання сприймається блоком детекторів, який перетворює її в електричні імпульси, що надходять до шнекового блоку. В останньому імпульси посилюються і за допомогою котушки індуктивності 6 передаються в одні з прийомних блоків 8 або 10, розташованих діаметрально протилежно один одному і призначених для прийому інформації з ґрунту або покрівлі пласта. Наводяться в котушках індуктивності 7 або 9 імпульси надходять в блок управління (при проходженні повз них шнекового блоку). Апаратура конструктивна розміщена таким чином, що в блок управління імпульси передаються тільки під час проходження ДПВ в зоні контакту порода - вугілля у ґрунту або покрівлі пласта.

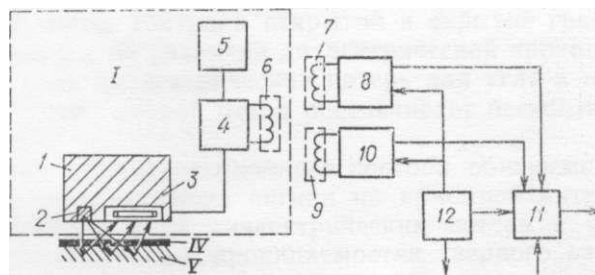


Рисунок 2. Схема управління шнеками комбайна за допомогою ДПВ:
 1 – шнек, 2 - від регулятора шнека, 3 - до регулятора шнека, IV- вугілля, V – порода.

При радіохвильових і ультразвукових (акустичних) датчиках, які передбачають визначення загасання хвиль, є можливість управляти величиною сигналу, що характеризує різні породи, за рахунок зміни частоти коливань і бази вимірювань. Ці датчики встановлюються поблизу виконавчого органу виймкових машин.

В ультразвуковому ДПВ (рис. 3) контроль кордону порода- вугілля ведеться за допомогою випромінювання і реєстрації поверхневої пружної хвилі. Стабільний акустичний контакт ультразвукових перетворювачів забезпечується притисканням пристрою контролю та поглинання радіосигналу. Співвідношення сигналів по двом різним породам при ідентичних умовах випромінювання і прийому виражається залежністю

$$K = \exp \{ - [(\delta' / C'_R) - (\delta'' / C''_R)] f \cdot r \},$$

де δ' і δ'' - декременти загасання пружних хвиль у вугіллі і породі; $[C'_R]_R$ і $[C''_R]$ - швидкості поширення пружних хвиль Релея відповідно в вугіллі і породі; f - частота коливань; r - база вимірювань.

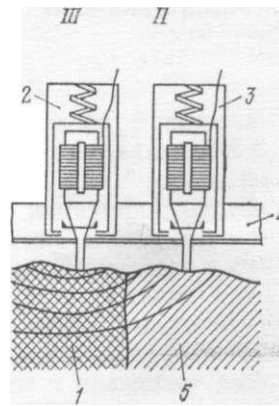


Рисунок 3. Схема ультразвукового ДПУ:

1 – вугілля, 2 - магнітострикційний випромінювач коливань, 3-магнітострикційний приймач коливань, 4 - кріпильна рама, 5 – порода.

Для створення значної амплітуди в поверхневої хвилі Релея необхідно створити точковий контакт випромінювача з масивом.

Радіохвильовий метод контролю відкритої і прихованої кордонів порода – вугілля заснований на відмінності діелектричної проникності і тангенса кута діелектричних втрат для вугілля і порід, що вміщують. Радіохвильовий метод забезпечує безконтактний контроль.

При застосуванні інтерфеційного способу виявлення прихованого кордону порода – вугілля сигнал на приймальній антені визначається тангенсом кута діелектричних втрат у вугіллі і різницею в діелектричну проникність твердого включення ϵ_{τ} ті вугілля ϵ_{ν} , що виражається через затухання електромагнітної хвилі і коефіцієнт її відображення:

$$B = (\sqrt{\epsilon_{\tau}} - \sqrt{\epsilon_{\nu}}) / (\sqrt{\epsilon_{\tau}} + \sqrt{\epsilon_{\nu}})$$

Коефіцієнт відображення для вугільного пласта з включенням, що характеризується діелектричною проникністю $\epsilon_{\tau} = 6 \div 10$, становить приблизно 0,1-0,2.

При заданих максимальній глибини вимірювань, раціональному енергетичному потенціалі (відношення потужності випромінювання до потужності на вході приймача), коефіцієнтах відображення і загасання хвилі ефективність виявлення кордону порода - вугілля залежить від правильного вибору частотного діапазону електромагнітного випромінювання. Збільшення робочої частоти зменшує масу і габарити антени і підвищує роздільну здатність, але збільшує загасання і погіршує перешкодозахищеність через вплив шорсткостей стінки забою. У зв'язку з цим рекомендується частотний діапазон - сотні мегагерц. Потужність пласта обмежує використання в лаві антен великих розмірів, що негативно позначається на коефіцієнти посилення антен (коефіцієнти спрямованої дії).

Значний вплив на енергетичні та частотні параметри апаратури надає вологість вугілля. При підвищенні її більш як на 6-7%, необхідно збільшувати потужність випромінювання при збереженні вибраних частот або переходити на більш низькі частоти, що пов'язане зі зниженням роздільної здатності і надійності визначення кордону порода - вугілля.

Індукційний метод контролю кордону порода - вугілля полягає в тому, що генераторна рамка створює змінне магнітне поле, яке індуктує в шарі вугілля вихрові струми. Ці струми наводять в вимірювальної рамці е.р.с, відповідну товщині вугільної пачки. Зазначений метод контролю може бути реалізований при електропровідності вугілля, не менше ніж в 50 разів більшою електропровідності порід, що вміщують, т. т. Такий засіб контролю може бути раціональним тільки при розробці антрацитових пластів.

Контроль кордону порода - вугілля по природною радіоактивності заснований на відмінності природної радіоактивності породи – вугілля, зумовленої наявністю радіоактивних ізотопів різних легких і важких елементів.

Найбільшою природною радіоактивністю володіють гліноскладові породи - аргіліти, глинисті, вуглисто – глинисті і піщано – глинисті сланці, найменшою – вапняки і кварцовий піщаник, причому рівні радіоактивності, як правило, мало змінюються по падінню і простяганню. Рівень природної радіоактивності вугілля різних марок приблизно в 2-3 рази нижче, ніж, наприклад, глинистих сланців, аргілітів, пісковика і піщанистого сланцю. Реєстрація природного випромінювання ведеться в області малих (до $1,6 \cdot 10^{-14}$) енергій гамма – квантів.

Перспективність кожного з існуючих методів контролю кордону порода - вугілля визначається перш за все постійністю в різних гірничо-геологічних умовах тої відмінної ознаки, на якому базується застосування методу, а також діапазоном вимірювання самого засобу контролю.

ВИСНОВКИ: В даній статті проведений стислий аналіз найбільш перспективних методів контролю поділу кордону «порода –вугілля».

1. Висвітлені недоліки і переваги різних методів контролю поділу кордону «порода – вугілля»
2. На основі проведеного аналізу контролю кордону «порода – вугілля» перевага дається радіоізотопному методу контролю, якій підтверджується проведеними експериментами не повному обсязі, але обґрунтовано і будуть висвітлені в наступних матеріалах.

1. Каганюк О.К. Методи контролю границі «порода – вугілля» Монографія, Луцьк, Луцький НТУ 2017р., 76с.
 2. Каганюк О.К. Аналіз систем автоматичного керування вугільно – добувними комбайнами в складних гірничо – геологічних умовах // Науковий журнал Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво (RINS, Copernicus). Луцьк 2017 №26, с188 – 193.
 3. Каганюк О.К., Поліщук М.М., Самарчук В.Ф. Гринюк С.В. Конструктивні особливості вугільно видобувними машин та комплексів і їх класифікація як об'єктів автоматичного управління в площині вугільного пласта. // Науковий журнал «Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво» (RINS, Copernicus). – Луцьк 2018 №32, с53- 64.
 4. Kahanyuk O.K., Polishchuk M.M., Bortnyk K.Y., Kostiuchko S.M. Analysis o reasoning of the basic parameters of control of coal mining combines in the seam profile. Proceedings of articles the international scientific conference Czech Republic, Karlovy Vary – Ukraine, Kyiv, 13 April 2018.
 5. O. Kaganiuk, V. Melnyk, M. Polishchuk, S. Hryniuk, K. Bortnyk. Обґрунтування методів контролю кордону порода-вугілля для вугільно видобувних комбайнів. Proceedings of the National Aviation University. – Kyiv. – 2018. – №4. – p.70–80 (Index Copernicus, DOI : 1018372/2306-1472.77.13500).
 6. Каганюк О.К., Поліщук Т.О. Вимоги щодо якості управління вугільно видобувним комбайном в різних гірничо – геологічних умовах. // Науковий журнал Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво (RINS, Copernicus). – Луцьк, 2019. Випуск №35 с 36 – 41.
 7. Датчик «порода – уголь», Ильюша А.В., Солнцев В.Б. М., 1981. – 5 с. – Рукопись представлена ИГД им. А.А. Скочинского. Деп. В ЦНИЭИуголь 28 дек. 1981г. ,№ 2242 уп – Д81.
 8. Регулятор с изотопным датчиком «порода – уголь» для управления очистными комбайнами по гипсометрии пласта. /Черняк З.А., Нунупаров Г.М., Омельченко Н.П. – Уголь, 1975, №12, с. 38 – 39.
 9. А.С. № 1270323 (СССР) Способ автоматического управления очистным комбайном по гипсометрии пласта и система для его осуществления Каганюк А.К., Евстафьев Д.И. и др. Приоритет изобретения 22.04.85г. № 3908263; Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений СССР 15.07 1986г.
 10. Ярыгин Б.Э. и др. Система автоматического управления исполнительными органами комбайна с электрогидравлическим датчиком «порода – уголь» типа «Рубин». – Шахтная автоматика. Киев: Техника, 1975г. – 47с.
 11. Плюснин М.И., Мараев И.Д. К обоснованию индукционного способа контроля движения угледобывающих машин по гипсометрии пласта (антрациты). Изв. ВУЗов СССР. Геология и разведка, 1980, №9, с. 119 – 124.
1. Kaganyuk OK Methods of control of the boundary "rock - coal" Monograph, Lutsk, Lutsk NTU 2017, 76p.
 2. Kaganyuk OK Analysis of Automatic Control Systems for Coal Mining Combines in Complex Mining - Geological Conditions // Scientific journal Computer-Integrated Technologies: Education, Science, Production (RINS, Copernicus). Lutsk 2017 №26, p188 - 193.
 3. Kaganyuk OK, Polishchuk MM, Samarchuk VF Grinyuk SV Design features of coal mining machines and complexes and their classification as objects of automatic control in the coal bed plane. // Scientific Journal "Computer-Integrated Technologies: Education, Science, Production" (RINS, Copernicus). - Lutsk 2018 №32, p53- 64.
 4. Kahanyuk O.K., Polishchuk M.M., Bortnyk K.Y., Kostiuchko S.M. Analysis on the reasoning of the basic parameters of coal mining combines control in the seam profile. Proceedings of the Articles of the International Scientific Conference Czech Republic, Karlovy Vary - Ukraine, Kyiv, 13 April 2018.
 5. O. Kaganiuk, V. Melnyk, M. Polishchuk, S. Hryniuk, K. Bortnyk. Substantiation of methods of control of the rock-coal border for coal-mining combines. National Aviation University Proceedings. - Kyiv. - 2018. - №4. - p.70-80 (Index Copernicus, DOI: 1018372 / 2306-1472.77.13500).
 6. Kaganyuk OK, Polishchuk TO Quality requirements for the management of a coal mining combine in various mining and geological conditions. // Scientific journal Computer-Integrated Technologies: Education, Science, Production (RINS, Copernicus). - Lutsk, 2019. Issue # 35 from 36 - 41.
 7. The rock-coal sensor, Ilyusha AV, Solntsev VB M., 1981. - 5 sec. - The manuscript was submitted to IGD by them. A.A. Skochinsky. Dep. In CNIЕugol 28 dec. 1981 , № 2242 unitary enterprise - D81.
 8. The regulator with the isotope sensor "rock - coal" for management of cleaning combines on a layer gypsometry. / Z. Chernyak, GM Nunuparov, NP Omelchenko. - Coal, 1975, No. 12, p. 38 - 39.
 9. AS No. 1270323 (USSR) Method of automatic control of a purifying combine on layer gypsometry and system for its implementation AK Kaganyuk, DI Evstaf'ev Priority of Invention 22.04.85g. № 3908263; Registered in the State Register of Inventions of the USSR 15.07 1986.
 10. Yarygin BE etc. The system of automatic control of the executive bodies of the combine with electro-hydraulic sensor "rock - coal" type "Rubin". - Mine automation. Kiev: Technology, 1975. - 47s.
 11. Plusnin MI, Maraev ID To justify the induction method of controlling the movement of coal-mining machines by gypsum formation (anthracites). Izv. Higher education institutions of the USSR. Geology and Exploration, 1980, №9, p. 119 - 124.