

Однак у цьому напрямку ведуться активні розробки алгоритмів і програмних продуктів, що дозволяють спростити і автоматизувати камерально-графічні маркшейдерсько-геодезичні роботи.

Список літератури

1. Инструкция по производству маркшейдерских работ. М.:Недра, 1987. - 240 с.
2. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных работ в Криворожском железорудном бассейне. Ленинград.: ВНИМИ, 1975. - 68 с.
3. **Здешиц В.М., Сидоренко В.Д.** Сучасна техніка виявлення підземних порожнеч / Вісник Криворізького технічного університету. - Кривий Ріг: КТУ. - Вип. 29, 2011. - С. 59-64.
4. GS100 3D laser scanner [Електронний ресурс]: сайт Mensi.- Режим доступу: <http://mensi.com/Website2002/Specs/Spec G100.pdf>.
5. GS200 3D laser scanner [Електронний ресурс]: сайт Mensi.- Режим доступу: <http://mensi.com/Website2002/Specs/Spec G200.pdf>.

Рукопис подано до редакції 25.02.14

УДК 528.8.042: 622.2

В.М. ЗДЕЩИЦ, д-р техн. наук, проф., М.В. ШОЛОХ, канд. техн. наук, доц.,
М. П. СЕРГЄЄВА, ст.викладач, Криворізький національний університет

МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕОМЕХАНІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У ГРСЬКОМУ МАСИВІ

При видобуванні корисної копалини з сліпих покладів на глибоких горизонтах актуальною є проблема погашення виробленого простору. Утворення підземних пустот значних розмірів при відсутності планомірної їх ліквідації після закінчення очисного виймання створює небезпечні умови праці внаслідок самообвалень, при яких виникають повітряні удари, що роблять в окремих випадках руйнівний вплив на гірничі виробки і механізми, які розташовані на значній відстані від місця обвалення. Знання закономірностей мінливості напружено-деформованого стану масиву гірських порід навколо очисного простору, об'ємів, часу і характеру обвалення порід дозволить запобігти виникненню повітряних ударів. Аналіз відпрацювання сліпих покладів на глибоких горизонтах показав, що самообвалення в очисному просторі залежить не тільки від параметрів оголення і їхнього стану, але і від інтенсивності загального характеру зрушення вмішуючих порід, що свідчить про збільшення об'єму раніше утвореної воронки на поверхні від 500 до 3000 м, а в зоні зрушення концентричних тріщин. Розглянуто заходи створення умов для стійкого стану поверхонь, оголених гірничими роботами при інтенсивному видобуванні корисних копалин, без яких неможливі безпека праці робітників, можливість найбільш раціонального використання вже порушеної частини підземного гірського масиву. Аналіз критеріїв руйнування найбільш придатних для гірських порід показав, що основною механічною характеристикою, є межа міцності на одноосовий стиск, яка отримана у лабораторних умовах. Показано, що прогнозування проявів гірського тиску ускладнюється на етапі видобування корисної копалини з сліпих покладів на глибоких горизонтах в структурно-геологічних порушеннях гірського масиву. Доведено, що аналітичні і числові методи оцінки стану гірського масиву в основному спрямовані на виявлення детермінованих геомеханічних закономірностей і не враховують складного стохастичного характеру процесів в неоднорідному структурно - порушеному середовищі. Розроблено теоретичні положення дослідження математичного моделювання вимірювальних, реєструючих, обчислювальних і камерально-графічних маркшейдерсько-геодезичних напівавтоматичних систем для оцінки стану геомеханічних процесів при формуванні виробленого простору.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Впродовж багатьох років видобування корисних копалин з Криворізького родовища залізистих кварцитів сотні квадратних кілометрів земної поверхні знаходяться під зонами зрушення, шламо- та хвостосховищами, ставками - накопичувачами шахтних вод, відвалами, що призвело до активізації різного роду екзогенних процесів та явищ. Внаслідок порушення гідрогеологічного режиму гірського масиву в межах басейну утворились численні депресійні воронки, в яких вільно переміщується вода, що потрапляє до глибинних зон порушення надр і підвищує їх небезпечність внаслідок підвищення рухомості порушеного масиву. Зазначені техногенні процеси у поточний час складають геотехнічну ситуацію, яка за гостротою прояву негативних наслідків видобування і перероблення корисних копалин близька до критичної [3].

Аналіз досліджень та публікацій. На основі виконаного аналізу сучасних напівавтоматичних систем для просторового визначення місцезнаходження і спостереження за виробленим

простором при підземному способі видобування корисних копалин з родовища, покладу, рудного тіла або його ділянки та маркшейдерського забезпечення зйомки доступних і недоступних гірничих пустот [2,3], розроблено теоретичні положення математичного моделювання волоконно-оптичних систем. За основу розроблення таких напівавтоматичних систем взято вивчення процесу формування виробленого простору з урахуванням фізико-механічних властивостей гірських порід під впливом підповерхового способу проведення гірничих робіт для умов Кривбасу. Вибрано оптимальні варіанти, які закладено в проектні рішення створення напівавтоматичної системи для вимірювання доступних і недоступних гірничих пустот з використанням волоконно-оптичних технологій.

Постановка завдання. Розроблення методів та засобів для дослідження геомеханічних процесів у гірничодобувних регіонах в зоні впливу гірничих робіт на процес формування і заповнення виробленого простору, стійкості налягаючих порід, визначення характеру мінливості планово-висотних деформацій і переміщення гірських порід на основі розроблення принципово нових математичних моделей вимірювальних, реєструючих, обчислювальних і камерально-графічних маркшейдерсько-геодезичних напівавтоматичних систем, для маркшейдерського забезпечення гірничого виробництва при видобуванні корисних копалин з сліпих покладів на глибоких горизонтах у відповідності з проектними рішеннями перспективного і поточного планування гірничих робіт та гірничо-геологічними умовами.

Викладення матеріалу та результати. При розробці сліпих покладів на глибоких горизонтах досить актуальною є проблема погашення виробленого простору. Зазначене питання набуває особливого значення в умовах Кривбасу, де накопичено велику кількість підземних пустот з загальним обсягом більше 10 млн. м³. Утворення підземних пустот значних розмірів при відсутності планомірної їх ліквідації після закінчення очисного виймання створює небезпечні умови праці внаслідок можливих самообвалень, при яких виникають повітряні удари, що роблять в окремих випадках руйнівний вплив на гірничі виробки і механізми які розташовані на значній відстані від місця обвалення. Для запобігання виникнення повітряних ударів набуває значення закономірностей мінливості напружено-деформованого стану масиву гірських порід навколо очисного простору, об'ємів, часу і характеру обвалення порід. Аналіз відпрацювання покладів у Кривбасі показав, що самообвалення в очисному просторі залежить не тільки від параметрів оголення і їхнього стану, але і від інтенсивності загального характеру зрушення вмшуючих порід, що свідчить про збільшення об'єму раніше утвореної воронки на поверхні від 500 до 3000 м, а в зоні зрушення концентричні тріщини. Інтенсивне видобування корисних копалин, безпека праці робітників, можливість найбільш раціонального використання вже порушеної частини підземного масиву неможливі без створення умов для стійкого стану поверхонь, оголених гірничими роботами. На сучасному етапі видобування корисних копалин здійснюється на великих глибинах в структурно-геологічних порушеннях гірського масиву. За такими обставинами прогнозування проявів гірського тиску ускладнюється. Розвинуті на цей час аналітичні і числові методи оцінки стану гірського масиву в основному спрямовані на виявлення детермінованих геомеханічних закономірностей і не враховують складного стохастичного характеру процесів у неоднорідному структурно-порушеному середовищі.

Природною властивістю гірських порід є їх неоднорідність. Відповідно до принципів статистичної механіки, рівноважні стани фізико - хімічних процесів, у результаті яких формується мікроструктура масиву, неоднаково реалізуються в кожній точці породного середовища, що породжує статистичну сукупність його властивостей і ознак. Проведення гірничих виробок, появлення неоднорідностей, порожнин у гірському масиві, викликає миттєвий перерозподіл напружень і формувань нового стану порід у природному полі. Створюються умови для розвитку нових неоднорідностей різних порядків: від розриву міжатомних зв'язків, розкриття контактів по поверхнях зерен, до інтенсивного розвитку хаотичної тріщинуватості у приконтурних зонах. На виявлення закономірної складової мінливості гірського масиву спрямовані аналітичні методи визначення напружено-деформованого стану порід, що базуються на положеннях механіки суцільного чи дискретного середовища. Випадкова мінливість властивостей порід, що обумовлена дією неоднорідностей різних порядків залишається за межами розгляду. Тим самим поза дослідженнями опиняється випадкова складова загальної закономірності взаємодії механічної системи «масив - підземні утворення». Ймовірна природа перебігу процесів навколо підземних гірничих виробок досліджувалась у роботах [2,3].

Природним продовженням аналітичних і числових методів повинен стати комплексний підхід, що об'єднує їх як взаємодоповнюючий елемент і разом з тим враховує стохастичну природу об'єкта. Аналіз критеріїв руйнування найбільш придатних для гірських порід показав, що основною механічною характеристикою, є межа міцності на одноосовий стиск, яка отримана у лабораторних умовах. Однак визначена в такий спосіб характеристика не є досить правдивою для даного типу порід. Це обумовлено великою кількістю випадкових чинників, що вплинули на формування структури масиву, але не виявляються при дослідженні зразків. Відмінність міцності реального гірського масиву R_m від середньої міцності лабораторних зразків m_R оцінюється коефіцієнтом структурного послаблення, що дорівнює відношенню

$$k_C = R_m / m_R \quad (1)$$

Враховуючи різний порядок неоднорідностей з яких складається гірський масив, відзначимо, що властивості такого середовища не можна охарактеризувати одним числовим значенням параметра, так-як реакція середовища на зовнішній вплив буде різною у різних її точках. Властивості неоднорідного масиву описуються функціональною залежністю механічних характеристик від просторових координат. Сукупність значень міцності в деякій області гірського масиву, що отримана по кернях розвідувальних свердловин варто розглядати як реалізацію просторової функції. У фіксованих перерізах випадкова функція перетворюється на звичайну випадкову величину з тим чи іншим законом розподілу. Міцність масиву оцінюється такою величиною R_m , щоб міцність його структурних елементів, в тому числі лабораторні зразки, із заданою надійністю були не менше цього значення. Ймовірність такої події визначається виразом

$$p(R_m < R < \infty) = 1 - F(R), \quad (2)$$

конкретний вигляд якого залежить від вибору функції $F(R)$ ймовірнісного розподілу міцності структурних елементів. З приводу цього розподілу можуть висуватися різні гіпотези, аналіз яких показує, що вид функції розподілу істотно позначається на величині коефіцієнта структурного послаблення. Використання логарифмічно нормального розподілу для опису міцності реального гірського масиву може бути фізично обгрунтована з позиції моделі Кептейна - ефекту пропорційного накопичення ушкоджень у процесі навантаження випробуваних зразків.

$$f(x, \mu, \sigma) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}\right], \quad x > 0, \quad (3)$$

Для логарифмічно нормованої функції розподілу з рівняння (2) отримаємо граничне значення міцності

$$R_m = \exp(\mu + \sigma \arg \Phi(1 - p)), \quad (4)$$

де $\arg \Phi(1 - p)$ аргумент функції $\Phi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^t \exp\left[-\frac{z^2}{2}\right] dz$, $t = \frac{R - \mu}{\sigma}$ при її значенні, рівному $(1 - p)$; μ, σ - параметри логарифмічно нормального розподілу.

Коефіцієнт структурного послаблення в цьому разі може бути виражений через відносну варіацію міцності η , що характеризує ступінь неоднорідності середовища як це зроблено в роботі [4] в припущенні нормального закону розподілу

$$k_C = \frac{\exp\left(\arg \Phi(1 - p) \sqrt{\ln(\eta^2 + 1)}\right)}{\sqrt{\eta^2 + 1}}, \quad (5)$$

Мінливість міцності спричиняє і мінливість таких важливих, з погляду стійкості параметрів, як розміри зон непружних деформацій. Отже, коефіцієнт міцності (коефіцієнт структурного послаблення) відіграє визначальну роль при визначенні стійкості стану гірського масиву, розмірів зон непружних деформацій тощо. Лабораторні дослідження зразків породи не є переконливими і потребують теоретичного обгрунтування. Крім цього, зразок, який вилучений з тіла гірського масиву, розвантажується і його параметри не є тотожними параметрам гірської породи. Отже, потрібні нові методи, які дозволять визначати параметри гірської породи не відбираючи зразки породи з цілику. Знання фізико - механічних характеристик гірських порід необхідне не тільки для оцінки стійкості масивів порід, що оголяються гірничими виробками, але й для

обґрунтування параметрів вибухових робіт. При визначенні фізико-механічних характеристик гірських порід використовуємо статичний і динамічний методи досліджень. Найбільшого поширення набули статичні методи дослідження гірських порід. Проте вони є досить трудомісткими, вимагають потужного устаткування, ретельної підготовки зразків до досліджень. Отриманні при цьому характеристики багато в чому залежать від розмірів і форми зразків, умов проведення досліджень і інших чинників. Подолати ці недоліки багато в чому дозволяють динамічні способи дослідження, зокрема, звукові, до яких відносяться як ультразвукові, так і власне звукові методи.

Завдяки успішному розвитку електроніки, акустики, волоконно - оптичної технології і інших галузей сучасної науки, ці методи дослідження фізико - механічних властивостей гірських порід і інших матеріалів все впевненіше починають конкурувати із статичними методами, а у ряді випадків просто є єдиними. Звукові методи дослідження мають перед статичними наступні основні переваги [2]: відсутність руйнівних і ушкоджувальних дій на випробовуваний зразок (інтенсивність коливання складає десятки і соті долі Вт/см²); можливість необмеженого повторення досліджень, що додає достовірність отримуваним показникам; швидкість досліджень і оперативне отримання результатів. Основою звукових методів є дослідження розповсюдження пружних хвиль у твердих тілах, зокрема, гірських породах. У даний час для цих цілей використовують звукові коливання дуже широкого частотного і енергетичного діапазону. Для дослідження матеріалів і контролю технологічних процесів найбільшого поширення набули коливання ультразвукового діапазону, тобто коливання, частота яких лежить за верхньою межею чутності людського вуха і перевершує 20 кГц. Широке застосування і великі перспективи ультразвуку має завдяки своїм особливим властивостям, що дозволяє проводити дослідження майже виключаючи перешкоди з боку обмежуючих поверхонь тіла і в порівняно менших об'ємах речовини, чим це вирішують коливання чутного діапазону. Мала довжина ультразвукових хвиль допускає дуже хороше його фокусування, що забезпечує отримання направлено випромінювання, що дозволяє не тільки визначати властивості гірських порід, але і пояснювати фізичну природу тих або інших явищ, які відбуваються в них. Звукові методи не протистоять іншим фізичним методам дослідження гірських порід, а доповнюють їх. Можливість швидко і з високим ступенем точності вимірювати швидкість розповсюдження і загасання ультразвуку в породах дозволяє проводити мікроструктурні дослідження, спостерігати кінетику процесів, що відбуваються в гірських породах при мінливості зовнішніх умов і реєструвати їх. Характерною особливістю звукових методів є те, що результати досліджень виходять не у вигляді безпосередніх значень властивостей порід, таких, як модулі пружності E, G , коефіцієнт Пуассона σ , а у вигляді непрямих показників: швидкість або час розповсюдження пружних хвиль, власна частота коливань досліджуваного зразка і інші.

Розвиток електронної техніки і вдосконалення фізичних методів відкривають великі можливості до створення комплексу простих, надійних в експлуатації і недорогих приладів для швидкого дослідження зразків гірських порід без руйнування, що дозволить більш глибоко і всесторонньо вивчити структуру, пружність, міцність і інші властивості гірських порід. Всі звукові методи дослідження засновані на фізичному явищі розповсюдження пружних хвиль в гірських породах під дією звукових або ультразвукових коливань. Виникнення і розповсюдження коливань в гірських породах відбувається так само, як і у всякому твердому тілі. Якщо в твердому тілі від зовнішнього джерела звуку збуджуються коливання, то вони не залишаються обмеженими біля центру виникнення, а створюють в навколишньому середовищі пружну напругу, яка, у свою чергу, приводить в рух сусідні частинки середовища. Таким чином відбувається розповсюдження пружних коливань в просторі, що є хвильовим рухом. Якого для ізотропного пружного середовища описується диференціальними рівняннями

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = (\lambda + \mu) \frac{\partial \Delta}{\partial x} + \mu \nabla^2 u, \quad (6)$$

$$\rho \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} = (\lambda + \mu) \frac{\partial \Delta}{\partial y} + \mu \nabla^2 v, \quad (7)$$

$$\rho \frac{\partial^2 \omega}{\partial t^2} = (\lambda + \mu) \frac{\partial \Delta}{\partial z} + \mu \nabla^2 \omega, \quad (8)$$

де u, v, ω - переміщення у напрямі осей X, Y, Z ; λ, μ - константи Лама; ρ - густина середовища; Δ - об'ємне розширення; ∇ - оператор Лапласа.

У цих рівняннях константи λ та μ визначають пружні властивості ізотропного середовища. Основними акустичними характеристиками речовини є: швидкість розповсюдження пружних коливань, яка визначається в основному густиною і пружними властивостями середовища; питомий хвильовий опір, що дорівнює добутку густини середовища на швидкість звуку; коефіцієнт загасання пружних коливань. Швидкість розповсюдження звукових хвиль c пов'язана з довжиною хвилі λ і частотою коливань f , що характеризують хвильову рухомість залежністю

$$c = \lambda / f \quad (9)$$

Фазова (хвильова) швидкість є швидкістю, з якою розповсюджується деяка фаза періодичного нескінченно триваючого монохроматичного коливання. Групова швидкість деякої групи хвиль розповсюджується обмежений час. У середовищах, де частотна дисперсія, тобто мінливість швидкості залежно від частоти коливань, відсутня (що характерно для більшості гірських порід), фазова і групова швидкості мають одне і те ж значення. По характеру траєкторії розповсюдження розрізняють плоскі, сферичні і циліндричні звукові хвилі. Плоска хвиля має місце, коли радіус випромінювача більше довжини хвилі коливань випромінювання; у разі зворотнього співвідношення розповсюджується сферична хвиля. При лабораторних дослідженнях гірських порід в основному застосовуються плоскі пружні хвилі. Гірські породи володіють як пружністю об'єму, так і пружністю форми, тобто прагнуть зберегти свій об'єм і форму при дії на них звукових або ультразвукових коливань. Завдяки цьому гірські породи здатні передавати, окрім поздовжніх пружних хвиль, також зсувні і інші типи хвиль. Тип хвилі, що розповсюджується у гірській породі, визначається характером порушуваних коливань, формою зразка, що досліджується і його розмірами в порівнянні з довжиною хвилі. Співвідношення між швидкостями розповсюдження поздовжніх c_L , поперечних c_T і поверхневих c_R пружних хвиль наступне

$$c_L > c_T > c_R.$$

Зв'язок швидкості і пружних характеристик гірської породи для різних типів хвиль визначається виразами

$$c_L = \sqrt{\frac{E(1-\sigma)}{\rho(1+\sigma)(1-2\sigma)}}, \quad (10)$$

$$c_T = \sqrt{G/\rho}, \quad (11)$$

$$c_R = \frac{0,87 + 1,12\sigma}{1 + \sigma} \sqrt{\frac{G}{\rho}}. \quad (12)$$

Швидкості розповсюдження різних типів хвиль, що збуджуються звуковими або ультразвуковими коливаннями, залежать від пружних властивостей середовища. Тому в однорідному ізотропному середовищі її пружні властивості можуть бути визначені просто, якщо відомо будь-які дві швидкості розповсюдження пружних хвиль (c_T і c_L ; c_L і c_R і т. ін.). Гірські породи в загальному випадку є структурними середовищами, компоненти яких володіють різними пружними властивостями. Міцні гірські породи (граніт і кварц) при нарузі, що не перевищує межі пружності, поведуться як однорідні пружні середовища, повністю поновлюючи свої розміри і форму після зникнення деформуючих сил.

Пружні характеристики гірських порід залежать від мінералогічного складу, структури, пористості, вологості і інших чинників, то швидкість розповсюдження пружних хвиль в породах з мінливістю кожного з цих чинників також міняється. На цьому факті і побудований метод визначення міцності шляхом сейсмічного зондування гірської породи. У сильно пористих породах і ґрунтах швидкість розповсюдження пружних хвиль загалом визначається пружними властивостями всіх фаз, що складають ці породи: твердих компонентів і речовини, що запов-

ное пори. Звукові хвилі, що розповсюджуються через гірську породу, несуть з собою певну енергію. У міру розповсюдження через середовище інтенсивність пучка (кількість енергії, що переноситься хвилею за 1 с, через майданчик в 1 м^2 , перпендикулярний до напрямку розповсюдження) зменшується в результаті поглинання по експоненті.

По ступеню ослаблення інтенсивності пучка також можна судити про мінливість міцності породи. Поперечний перетин рудного тіла обмежений, тому, вимірявши часовий інтервал між приходом прямої хвилі і відбитою на межі розділу середовищ з різною міцністю, можна також визначити швидкість розповсюдження сейсмічної хвилі. Таким чином, по сейсмограмі можна трьома незалежними способами визначити швидкість розповсюдження сейсмічної хвилі, а разом з цим і контролювати міцність гірської породи.

Проведені експерименти дозволили з'ясувати принципову можливість використання сейсмічної апаратури на базі цифрового осцилографа, що запам'ятовує, для визначення міцності цілика рудного родовища.

Надалі, на підставі отриманих даних, може бути розроблена методика оцінки оптимальної кількості і місцеположення вибухових свердловин залежно від міцності гірської породи.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Методика сейсмічного зондування гірського масиву дозволяє визначити швидкість поперечних і поздовжніх хвиль, тобто контролювати міцність цілика безпосередньо при його розвантаженні і оцінювати розміри рудного тіла. Мінливість міцності гірської породи на одиницю в межах $f = 4-12$ приводить до мінливості швидкості розповсюдження поздовжньої сейсмічної хвилі на 400 м/с.

Врахування цього факту дає можливість оптимізувати технологію вибухових робіт, а також вимірювати міцність породи, що нависає над виробленим простором та виробками до денної поверхні.

Список літератури

1. Инструкция по производству маркшейдерских работ. М.:Недра, 1987, - 240 с.
2. **Здешиц В. М.** Розробка способу виявлення підземних порожнеч / **В. М. Здешиц, С. В. Рева, В. Д. Сидоренко** // Вісник Криворізького технічного університету. – Кривий Ріг – 2010. – Вип. 25.– С. 61–65.
3. **Монахов А. В., Сазонов А. В., Шолох Н. В., Яковенко А. Л.** Развитие процесса сдвижения при отработке слепых рудных залежей в Криворожском бассейне // Вісник Криворізького технічного університету. – 2011. – Кривий Ріг – Вип. 29.– С. 82– 87.

Рукопис подано до редакції 25.02.14

УДК 622.272

Ibrahima Bah, Valery Pozdnyakov (UNIVERSITE GAMAL Abdel Nasser De Conakry, République de Guinée), Stupnik N.I, Kalinichenko V.O., Kalinichenko O.V.
(Université Nationale De Krivoï Rog, Ukraine)

STRATEGIE DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE DU DEPARTEMENT DE GENIE INDUSTRIEL ET MAINTENANCE DE L'INSTITUT POLYTECHNIQUE DE L'UNIVERSITE GAMAL ABDEL NASSER DE CONAKRY

La maintenance des installations dans l'industrie minière représente l'une des réserves d'assurer la rentabilité maximale des installations oblige. A l'aide de la maintenance, on cherche à augmenter l'efficacité des installations et, comme résultat, la diminution du prix de revient d'un produit.

Pour juger l'efficacité de la maintenance, il faut trouver au niveau d'une entreprise concrète: des informations d'activité: heures passées, type de la maintenance appliquée (corrective, préventive...) et partie occupée pour chaque type de maintenance. Des informations de coût s: coûts de la maintenance, coûts de la maintenance sous-traitée, coûts de l'outillage. Des informations d'efficacité: disponibilité, temps d'arrêt, temps utilisé justement pour la réparation, nombres de pannes. Vu l'influence d'un grand nombre de facteurs sur la productivité de chaque élément temps de disponibilité = temps de fonctionnement + temps d'arrêt; temps d'indisponibilité = temps d'indisponibilité pour la maintenance + temps d'indisponibilité pour incapacité (due aux causes extérieures ou aux contraintes d'exploitant), son taux de fiabilité possédant généralement un caractère aléatoire, les méthodes de traitement statistiques des données expérimentales seront utilisées.

L'accomplissement d'une telle étude demande des ressources humaines considérables ayant une formation réellement pertinente (peut être une coopération inter département et même interuniversitaire sera utile).