

Az elektronikus számítástechnika alkalmazása a mélyfúrás kutatási, tervezési és üzemi feladataihoz

Írta: Fülöp Miklós

1. A fúrás technológiai számításokról általában

Általánosan elfogadott tény, hogy a mélyfúrási tevékenységeknél az elektronikus számítástechnika alkalmazása napjainkban nem olyan előrehaladott, mint más iparágakban, vagy az olajipar más területén (termelés, szállítás, feldolgozás). Ezen elmaradás okainak felderítése és a lemaradás behozásához megteendő lépések meghatározása érdekében kívánjuk részletesen áttekinteni a feladatokat és lehetőségeket.

Már előljáróban meg kell jegyeznünk, hogy a fenti említett lemaradás bizonyos értelemben szerencsés, hiszen a számítástechnika fejlődésének jónéhány szakaszát sikerült „átlépnünk”, valahogy úgy, mint ahogy egy újonnan létesített modern várost nem terhelik az adottságokból fakadó közlekedési, közművesítési, stb. problémák.

Hazai vonatkozásban vizsgálva természetes, hogy az olyan fejlett olajtermelő országokhoz képest, mint a Szovjetunió vagy az USA, a fúrási iparág ezen viszonylagos számítástechnikai elmaradottsága még nagyobb. De éppen a fúrástechnikailag kedvezőtlen hazai geológiai adottságok (túlnyomásos rétegek, kis geotermikus mélységlépcső, kilazult fedőrétegek) indokolják az elmaradás felszámolása érdekében tett fáradozásokat.

1.1 A mélyfúrási számítástechnika eszközei (hardware kérdések)

A bevezetőben említett elmaradás egyik fő oka, hogy a számítástechnikai fejlődés kezdeti szakaszában a számítógépek (főleg az első kategóriás gépek) helyigénye nagy, mozgathatósága lehetetlen volt, sőt a gépek üzeméhez (elsősorban a második kategóriás gépek esetében) szigorú klimatizálási feltételeket kötöttek ki. Ugyanakkor a fúrási ipar igen nagy mobilitása, a fúrási pontoknak az infrastruktúrától kieső helyeken való elhelyezkedése az első és második kategóriás gépek közvetlen alkalmazását nem tette lehetővé. Csak az igen kisméretű, kevésbé klímaérzékeny, harmadik kategóriai gépek megjelenésével válik lehetővé a fúrási ponton üzemelő állandó vagy szervizszerű gépi számítás.

Az elmaradás másik oka a fúrási számítási igényeknél fellépő nagyszámú paraméter és a változó, de viszonylag intenzív gyakoriság. Ezen tényezők (a később tárgyalt számítási módszerek mellett) meghatározták a számítógépek minimális memóriakapacitását, valamint nehézséget okoztak a nagy költségű, ezért gondosan előre beosztott alkalmazási rend és igénybevé-

teli lehetőség tekintetében. Csak a harmadik kategóriás gépek megjelenése és a velük párhuzamosan kifejlesztett programrendszer (software-ok) biztosítják a rendszertelen és nagyszámú adattárolás és számítási igények megvalósítását.

A huzalozott programozású (a gépbe áramkörileg beépített számítási rendszerű) kisgépek ezen számítások elvégzését ma már fúrási ponton is lehetővé teszik.

1.2 A mélyfúrási számítástechnika mérési és vezérlési problémái (input-output kérdések)

Az előző fejezetben vázolt gépkonstrukciós kérdéseken kívül, nagy problémát jelentett a számításokhoz szükséges adatok megalkotása, rögzítése és továbbítása, valamint a gép által meghatározott eredmények közlése.

A helyhez kötött gépek időszakában a probléma távközlési kérdéssé redukálódott. Azonban a közvetlen gépi elérés, (az ezzel járó impulzustechnikai problémák és ennek nagyfrekvenciás átviteli berendezési igénye) valamint a közvetett gépi elérés (az ehhez szükséges egyedi konstrukciójú adapterek szerkezeti problémái) között nem sikerült a helyes középutat megtalálni. A Szovjetunióban üzemi szinten bevezetett, a telefonhálózatot, vagy a nagyfeszültségű elektromos energiahálózatot felhasználó fúróberendezés, számítógép-kapcsolat volt feltehetőleg a legkedvezőbb megoldás.

A harmadik kategóriás gépek megjelenése ezt a problémát kiiktatta, így a meg nem talált optimumot ma már nincs értelme tovább keresni. Ugyanakkor input-output vonatkozásban a kérdés műszerezési és digitalizálási feladatok megoldását kívánja, hiszen a fúráskor jelentkező nagyszámú paramétert mérni és a számítógéppel lehetőleg közvetlenül közölni kell.

A fejlődés jelenlegi szakaszában az egyoldalú — az adatokból csak eredményt számító — és a kétirányú — a számított eredményeket vezérlésre közvetlenül felhasználó — számítástechnika közötti optimum megkeresése a cél.

1.3 A mélyfúrási számítástechnika software problémái

A számítástechnikai közelmúltban lezajlott fejlődésével lényegében egyidőben jelentkezett a fúrási iparággal szemben támasztott nagyobb követelmény, az egyre nagyobb mélységű fúrások igénye és az ezzel párhuzamosan adódó fizikai, műszaki és technológiai kérdések megoldása.

A jelentkező problémák elsősorban a matematikai modellezés tekintetében igényelnek

gyökeres minőségi változást. Amíg a 2000—3000 m mélységű fúrások műszaki feladatai többségükben közelítő módszerekkel megoldhatók voltak, addig a nagyobb mélységi igények miatt a közelítések hibái megnöttek és a közelítő eljárásokba addig be nem vont paraméterek hatása is jelentőssé vált. Ezért a kisebb memóriakapacitást és egyszerűbb software technikát igénylő számítások helyett a több tízezer memóriarekeszt igénylő (32—64 K) gépek és a differenciálegyenleteket numerikusan megoldó, vagy a sok paraméterű statisztikai módszerek mátrixtechnikáját számítani képes software rendszerek kerültek előtérbe.

2. Mélyfúrási számítástechnika Magyarországon

Hazánkban gyakorlatilag 1967 óta folyik fúrástechnológiai vonatkozásban elektronikus számítógépek igénybevétele. Kezdetben Elliot 803/B második kategóriás középgepet (2K) és ICL 1905A, ugyancsak második kategóriás nagy gépet (32K), később ICL 1903/A típusú, harmadik kategóriás (64K), múlt programozású, George 2 operációs rendszerrel üzemelő nagy gépet volt módunkban igénybe venni. Jelenleg folynak a előkészületek asztali kisgép (Hewlette—Packard) alkalmazásának bevezetésére.

A számításokat eleinte elméleti kérdések vizsgálata érdekében végeztük. Később azokat felhasználtuk nagymélységű fúrások műszaki terveinek elkészítéséhez (Hod—1, Makó—2), egyes kényesebb technológiai művelet operatív elkészítéséhez (cementezések, kiegyensúlyozott fúrási kísérletek).

A számításokat Budapesten futtattuk, az adatokat manuális továbbítás után a futtatás előtt lyukasztottuk lyukszalagra, vagy lyukkártyára, tehát a számítóközpont és a felhasználási hely között egyenlőre közvetlen kapcsolat nincs.

2.1 Áttekintő jellegű számítások

Az időszak kezdetén különböző, a fúrási mélység növekedésével egyre fontosabbá váló, fúrástechnológiai fizikai jelenségeket vizsgáltunk a lehetséges paraméterek teljes tartományára meghatározva az eredményeket. Ezekhez a gépet elsősorban a nagymennyiségű számítás elvégzése érdekében alkalmaztuk, azok gép nél-

$$L_{max} = \frac{\{[g L + 2(T_{ki} - T_o)]^2 - 4 L [2g - \frac{T_r - T_{ki}}{L} (T_{ki} - T_o)]^{1/2}\}}{2(2g - \frac{T_r - T_o}{L})} + \frac{g L + 2(T_i - T_o)}{2(2g - \frac{T_r - T_o}{L})}$$

Meghatároztuk a fúróluk végtelen idő múlva kialakuló nyugalmi hőmérsékletét, amit ugyancsak a paraméterek teljes tartományára, az öblítés leállítása után bekövetkező fúróluk hőmérséklet emelkedés kezdeti időszakában kapott hőmérséklet értékekből tudunk számítani. (Bálint—Magyar—Pach elmélettel), ahol;

$$T_{ny} = \frac{T_i - J T_o}{1 - J}$$

kül nem megoldható matematikai feladatokat nem tartalmaztak.

Kiszámítottuk a paraméterek teljes tartományára a fúróluk öblítésének nyomásvesztességét, a Grodde elmélet szerint, pl. lamináris áramlásnál a gyűrűs térre, ahol 100 méteres szakasz áramlási nyomásvesztése:

$$\Delta p = \frac{1}{a} \frac{\vartheta}{(D_k - D_b) 10^6}$$

$$\frac{1}{a} = a H + b; \quad H = \frac{2 \eta v}{(D_k - D_b) \vartheta}$$

továbbá a és b a H értékétől függő állandók, valamint a Metzner—Reed elmélet szerint, ahol

$$\Delta p = f \frac{v^2 \gamma}{D_k - D_b}$$

f — a Fanning tényező, ami:

$$f = \frac{1,5 a(n)}{N'(n)^b (n)}$$

továbbá a és b az n kitevőtől függő állandó, valamint $N'(n)$ az ugyancsak n kitevőtől függő kritikus Reynolds-szám, ami:

$$N'(n) = \frac{\gamma}{K} \frac{(D_k - D)^n v^{2-n}}{B(n)}$$

$$B(n) = 1,5 \left(\frac{2n + 1}{3n} \right)^n$$

A két elméletben eltérően alkalmazott reológiai paraméterek közötti összefüggés:

$$\eta = K \cdot 479^n (2^n - 1) \frac{1}{4,79}$$

$$\vartheta_{BM} = K \cdot 479^n (2 - 2^n)$$

Másodfokú közelítő módszerrel kiszámítottuk az Edwardson-féle, a talpi hőmérséklet ismeretét feltételező, a fúróluk gyűrűsterében kialakuló maximális állandósult hőmérsékletet:

$$T_{max} = g L_{max} - T_o$$

$$J = \frac{E_i \left(-\frac{r}{4kt} \right) - E_i \left(-\frac{r}{4k(t_i - t_o)} \right)}{E_i \left(-\frac{r}{4kt_o} \right)}$$

$E_i(x)$ az integrálexponenciális függvény, továbbá k a közettől függő állandó.

A leírt számítások lefuttatásakor az eredmények többszáz sornyomató oldalt tettek ki.

Amint a közölt összefüggésekből látható, a számítások különösebb, csak géppel megoldható matematikai problémát nem tartalmaznak.

Mégis a számítások birtokában jelentős előrehaladást értünk el. Így pl.:

— Az Edwardson elmélettel kapott számítási anyag birtokában azt úgy sikerült módosítani, hogy a talpi hőmérséklet ismerete nélkül is tudjuk számítani (természetesen kvadratlitikus közelítéssel) a fúrólyuk minden mélységében, a fúrócsőben vagy a gyűrűstérben áramló öblítőközeg állandósult hőmérsékletét.

— A kapott nagymennyiségű számítási anyag birtokában a jelenségek tendenciájának felismerése folytán a felsorolt feladatokhoz számsoros csúszó nomogramokat szerkesztettünk (Mélyfúrási tolótáblázatok 1—5.).

2. Operatív jellegű és tudományos számítások

Az elvégzett számítások operatív jellegű felhasználhatóságának érdekében a programokat átalakítottuk úgy, hogy azok a paraméterek lyukszalagon beolvasott, éppen aktuális értékre adják a kívánt eredményeket. Így egy-egy konkrét esetre tudunk számítási protokollt biztosítani, a köteteket kitevő számítási anyag helyett.

Elkészítettünk olyan programokat is, amelyeknél nem csak a nagyszámú művelet, hanem a matematikai módszer is szükségessé tette a számítógép igénybevételét. Így egy zárt, a fúrólyukban lejátszódó gázfejlődés esetén a sarunál és a kútfejen jelentkező nyomásokat a Dolleschal S.—Tóth Z. féle modell alapján adódó implicit csak, numerikusan számítható összefüggésekből számítottuk:

$$(p_r^2 - A_1 G - A_2 G^2)^{1/2} -$$

$$- (p_2^2 - A_1 G)^{1/2} (1 - e) \frac{L_1 - L_2}{ZRT} -$$

$$\left((p^2 + A_3 e \frac{G}{A_4} \ln \frac{A_4}{1,76})^{1/2} = 0 \right)$$

ahol A_1, A_2, A_3 és A_4 különböző, a rétegtől és a gáz tulajdonságától függő állandók.

További törekvésünk, hogy a közelítő módszerek helyett a maximális pontosságra törekedjünk.

Így egyes differenciálegyenletek integrálási nehézségei miatt alkalmazott elhanyagolások okozta hiba elkerülése érdekében a differenciálegyenletes alak numerikus számítását helyezzük előtérbe. Ezen utóbbi gondolatra jellemző példa egy gázos iszapot tartalmazó fúrólyuk nyomásviszonyainak meghatározása.

(Az egyszerűség kedvéért itt csak a statikus, az áramlási veszteségeket és a lifthatást figyelembe nem vevő számítás ismertetjük.)

Egy gázos fúrólyuk nyomásviszonyait az

$$F p \frac{dp}{dz} + FB \frac{dp}{dz} = A p$$

$$A = \gamma_0 + \gamma_1 \quad B = \frac{1}{2} G_0 \left(1 + \frac{T - T_0}{273} \right)$$

differenciálegyenlet integrálásából kapott implicit alakú összefüggésből kapjuk. Maga az összefüggés is csak numerikusan számítható iterációs algoritmussal.

Közelebb vezet azonban a differenciális alak közvetlen numerikus számítása, amikor egy Δz mélységben a gáz térfogatát a z mélységben, az előző lépésben meghatározott nyomás és hőmérséklet alapján számíthatjuk. Megfelelően kicsi Δz lépésköz alkalmazásával (esetünkben 10, vagyis egy 3000 m mély fúrólyuk esetében 300 lépés, azaz kb. 1,5 perc Elliott gépidő) a kívánt pontosság elérhető.

Ha a dinamikus viszonyokat is leíró

$$F p \frac{dp}{dz} + FB \frac{dp}{dz} = A p + p_1 - C \frac{d^2 p}{dz^2} - p_2 p$$

differenciálegyenletet vizsgáljuk, annak integrálása csak jelentős elhanyagolásokkal valósítható meg. Viszont a numerikus integrálásnál az egyes lépésközökhöz tartozó járulékos nyomások figyelembevétele nem jelent különösebb nehézséget.

Hasonlóak a törekvéseink a fúrólyuk hőmérsékletének számításánál

$$T_2 = T_1 + A \frac{dT_1}{dz}$$

$$T_3 = T_2 + B \frac{dT_1}{dz} - B \frac{dT_2}{dz}$$

$$T_3 = g z + T_0$$

differenciál-egyenletrendszer numerikus integrálásával, amelynek során olyan jelenségek is figyelembe vehetők, mint az áramlási nyomásvesztések okozta hőfejlődés, a fúró munkájának hőegyenértéke, a függőleges hőáramlás, vagy a gyűrűstér és a nyugalmi hőszínten lévő távoli közetek közötti tér entrópiaváltozása.

Ugyanazt a módszert követtük akkor, amikor a fúrólyukban lévő gáz dugó kiöblítésének nyomásviszonyait számítottuk. Ideális esetben a számítás másodfokú egyenlet gyökeinek meghatározása csupán. A nyomásviszonyoknak Δz mélység lécszint szerinti meghatározása lehetővé teszi olyan jelenségek figyelembevételét, mint a gáz dugó elkenődése, a súrlódási veszteségek okozta nyomásváltozások, a gáznyomás és hőmérséklet függő eltérési tényezőjének hatása, a szakaszonként változó lyukgeometria okozta sebességváltozások, vagy egy a nyitott szakaszban lévő elnyelő réteg okozta gázmennyiség-csökkenés.

2.3 Számítási rendszerek kialakítása

A továbbiakban a gépi lehetőségeket kihasználva azt tervezzük, hogy a felsorolt és a

jövőben programozandó számításokat szubrutin-ként alkalmazó programcsomagokat alakítsunk ki. Ezekkel pl. fúrólyukak műszaki terveinek készítését kívánjuk — teljes terjedelemben — gépesíteni. Távlabbi célunk egy a fúrési tevékenységet teljesen átfogó komplex fúrési programcsomag összeállítása.

A programrendszerek felépítésének illusztrálására jelenleg befejezés előtt álló béléscső számítási program nyújt jó példát. A program több szubrutinból épül fel, amelyek későbbi műszaki vagy gazdasági igények esetén külön-külön, a teljes rendszer átalakítása nélkül módosíthatók:

- *Az adattároló szubrutin*, amely az összes létező szabványos béléscső bármilyen adatának gyors hozzáférését teszi lehetővé. Ezenkívül a konkrét méretezés esetén, ár- és raktározási tényezők pótlólagos hozzárendelése lehetséges. Szabvány változásra a tárolt adatok közül a megváltozottak módosíthatók.
- *A szilárdsági számítást végző szubrutin*, ez jelenleg a kéttengelyű feszültségi állapotot számítja.
- *A terhelést meghatározó szubrutin*, amelyik a fúrólyuk élete során szükséges összes technológiai művelethez meghatározza tetszőleges mélységben a fellépő nyomásokat és húzóerőket.
- *A gazdasági optimalizáló szubrutin*, amelyik a szilárdságilag alkalmas csövek közül a legolcsóbb rakatot adó csövet keresi meg.
- *A vezérlő szubrutin*, amelyik a fenti rutinokkal 27 m lépcsőben végzi a rakat felépítését.
- *A raktárkészletet meghatározó szubrutin* (jelenleg kialakítás alatt).

3. Következtetések

A leírtakból kitűnik, hogy a számítástechnika és számítógépgyártás technika fejlődése, valamint a növekvő fúrési mélységek miatt adódó számítási igények növekedése időben egybeesett.

A feladat a harmadik kategóriás gépek mobilitását és számítási gyorsaságát kihasználó, optimális input-output rendszer és az ehhez kapcsolódó komplex fúrési számítási rendszer kialakítása. Az ehhez szükséges matematikai modellek meghatározása érdekes és rendkívül nagy feladat.

JELÖLÉSEK

- A_p — áramlási nyomásvesztesség [at.]
- ϑ — a fúróiszap mozgási ellenállása [dyn/cm^2]
- D_k — a gyűrűstér külső átmérő [cm]
- D_b — a gyűrűstér belső átmérő [cm]
- η — viszkozitás [cP]
- v — áramlási sebesség [m/s]
- γ — fúróiszap fajsúlya [kp/dm^3]

- n — pszeudoplasztikus „kitevő”
- K — pszeudoplasztikus tényező
- N — pszeudoplasztikus Reynolds szám
- f — fanning tényező
- L_{max} — hőmérséklet maximum helye a gyűrűstérben [m]
- L — öblítési mélység [m]
- T_{ki} — a kifolyó iszap hőmérséklete [$^{\circ}\text{C}$]
- T_o — felszíni középhőmérséklet [$^{\circ}\text{C}$]
- T_T — állandósult hőmérséklet a lyuktalpon [$^{\circ}\text{C}$]
- g — geotermikus gradiens [$^{\circ}\text{C/m}$]
- T_{ny} — réteghőmérséklet [$^{\circ}\text{C}$]
- T_i — t_i idő eltelte után mért hőmérséklet [$^{\circ}\text{C}$]
- T_{σ} — egy öblítési szakasz végén mért hőmérséklet [$^{\circ}\text{C}$]
- t_{σ} — az öblítési szakasz időtartama [h]
- t_i — az i -ik mérésig eltelt idő [h]
- r — lyuksugár [m]
- p_r — rétegnomás [at]
- p_s — nyomás a sugárnál [at]
- G — átfejtődő gázmennyiség [kp/cm^2]
- L_s — sarumélység [m]
- L_t — a termelő réteg mélysége [m]
- F — fúrócső v. gyűrűstér felület [m^2]
- p — változó nyomás [at]
- z — változó mélység [m]
- G_{σ} — iszap gáztartalma [l]
- T — változó hőmérséklet [$^{\circ}\text{C}$]
- p_1 — felszíni fojtás [at]
- p_b — buborékmozgás ellenállása [at]
- T_1 — a gyűrűstérben áramló iszap hőmérséklete „z” mélységben [$^{\circ}\text{C}$]
- T_2 — a fúrócsőben áramló iszap hőmérséklete „z” mélységben [$^{\circ}\text{C}$]

Фюлѐп Миклош:

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОНИЧЕСКОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПОИСКА, ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ В ОТРАСЛИ ГЛУБОКОГО БУРЕНИЯ

Автор делает попытку определить основные задачи с связи с отставанием в применении электронно-вычислительной техники в буровой деятельности, по сравнению с другими отраслями, что вызвано недостаточным обеспечением машинного оборудования и недостаточностью математического обеспечения. В этом аспекте дается информация об отечественном состоянии вычислительной техники в буровом деле, о применяемых до сих пор методах вычисления, затем о дальнейших запланированных возможностях и задачах.