

## ДИГИТАЛЕН ВЕКТОРНО-СЕЙЗМИЧЕН СЕНЗОР И БЕЗЖИЧНАТА СИСТЕМА FIREFLY

**Володя Хлебников<sup>1</sup>, Димитър Мерачев<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Студент от Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", 1700 София, стажант в "Овергаз Инк", 1407 София;  
onimusha@mail.bg

<sup>2</sup>Младши експерт в "Овергаз Инк", 1407 София

**РЕЗЮМЕ.** Макар, че идеята за много-компонентната сейзмика заляга от много години, средствата и качеството ограничават употребата ѝ в стандартните изследвания. Новите постижения в технологиите като намаляване на размера на сензора и силициевите акселерометри са достъпни от повече от десет години, но само от скоро технологията позволява тези миниатюрни акселерометри да се произвеждат с производителност на смущенията съвместими с нужните за сейзмиката. Input/Output Inc усвояват тази технология в създаване на уникален микро-механичен дигитален акселерометър разработен главно за сейзмично изследователската индустрия. Новият векторно-сейзмичен дигитален сензор предоставя много предимства в сравнение с аналоговия геофон. Принципите на работа и спектралната характеристика на векторната сейзмика и сравняването на данни от обикновените 1С и 3С геофони ще бъде разгледана. Новата технология заедно със записващата апаратура също помагат да се подобрят разходите на много-компонентна информация използвайки векторно-сейзмична апаратура.

### VECTORSEIS DIGITAL SENSOR AND CABLELESS FIREFLY SYSTEM

**Volodya Hlebnikov<sup>1</sup>, Dimiter Merachev<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Student from the University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, trainee in "Overgas Inc", 1407 Sofia;  
onimusha@mail.bg

<sup>2</sup>Junior expert in "Overgas Inc", 1407 Sofia

**ABSTRACT.** While the concept of multi-component seismic has been around for many years, cost and quality concerns have limited its use in conventional exploration. Recent technology advances, such as reduction in sensor size and Silicon accelerometers have been available for over a decade, yet only recently has technology allowed these miniature accelerometers to be manufactured with noise performance compatible with seismic requirements, Input/Output Inc have adopted this technology in the design of a unique micro-machined digital accelerometer specifically targeted at the seismic acquisition industry. The new VectorSeis digital sensor provides several advantages over analogue geophones. The working principals and spectral characteristics of VectorSeis and data comparisons with conventional 1C and 3C geophones will be presented. This new technology and associated recording equipment are also helping to improve the cost structure of multi-component data recording using VectorSeis equipment.

### Въведение

В настоящият материал се представя нова технология с помощта на която сейзмично-проучвателния процес може драстично да се улесни. Като някои от основните ресурси необходими за провеждането му се намаляват, а именно: финансова част; необходимо време за изследване и работната ръка.

### Идеята

В най-простата си форма понятието за пълна-вълнова(многокомпонентна) сейзмика се появява в индустрията от няколко десетилетия. В последните няколко години сейзмичната записваща техника и методите за изследване се развиват достатъчно, за да може този вид сейзмика да бъде осъществим.

Запознаването с многоканалните системи в края на 1990 г. позволил сигурен аспект на пълното-вълново изобразяване и когато тези системи били комбинирани с три-компонентен(3С) дигитален сензор първото пълно-вълново проучване става реалност.

Пълната-вълнова идея всъщност е много проста. Целта е да се запише отразената сейзмична информация с прецизност и в известен смисъл отраженията на движението на частиците под повърхността. С други думи придобиването, инструментите и операционните методи да бъдат колкото се може по-ясни, докато в същото време имаме вярно записване на целия сейзмичен сигнал, който земята може да осигури. Ако тази цел бъде постигната, тогава изследването, анализирането и интерпретацията няма да бъдат ограничени от придобиването на информация. Основната цел на пълната-вълнова сейзмика

е да се съберат и интерпретират отражения с по-висока резолюция чрез по-бърз и удобен начин като същевременно имаме високо качество на информацията. За постигането на ясно придобиване геофизиците се нуждаят от модерен хардуер (hardware) и добра стратегия по време на изследването.

## Дигитален сеизмичен сензор

Сензорът има две принципни компоненти – микро-механичен силициев акселерометър с малка инертна маса, окачен на малки пружини и изработено по поръчка устройство – контролен чип с разнороден сигнал ASIC(Фиг.1).



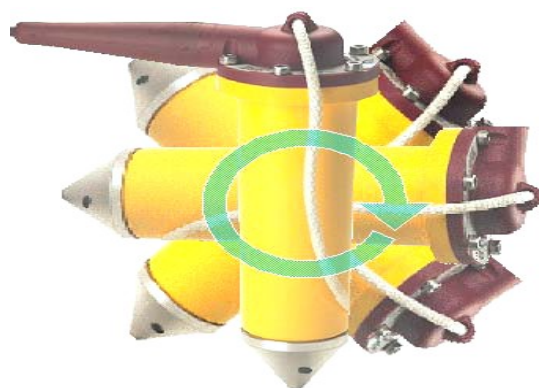
Фиг. 1. Векторно-сеизмичен сензор

От сензорът излиза директен 24 bit сигнал, с помощта на който се избягва нуждата от A/D преобразователи в записващата система. Сензорът дава възможност за работа с много ниски честоти и до такива от порядъка на 500 Hz, което допринася за регистрацията на относително плитко залягащи хоризонти. В основата на векторната сеизмика заляга 3С придобиване на информация, като тя се записва на VRSR (VectorSeis Remote Seismic Recorder) платформа. Разработването на сензора започва в ранната 1986 г. с първи полеви тест на прототипа през 1998г. последван с интензивни лабораторни тестове. Значителен напредък бива постигнат при презаписването на Rap Canadian, Blackfoot чрез 3С3D изследване през 1999 г. разработено от Veritas DGC.

## Придобиване

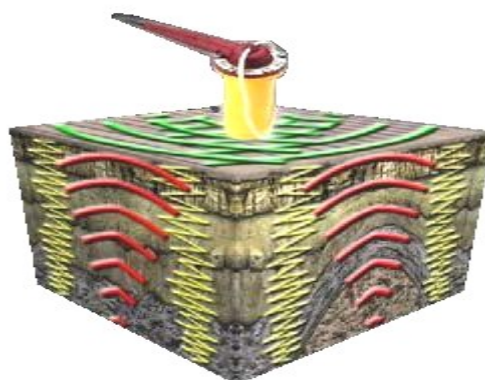
За стандартните Р-вълнови изследвания се използват стандартни геофони, които се използват от повече от 70 години. Те са относително евтини, здрави и надеждни, позволяващи гъвкави модели на разпределение. От друга страна, натуралния резонанс (например 10 Hz) ограничава записващата сигнална достоверност при по-ниски честоти. Геофоните трябва да бъдат добре нивелирани, докато операционните предимства при записването на многокомпонентната информация са значими. Те изискват по-малко свързване и по-малко кабели, за това теглото на екипировката се намалява драстично, следователно и цената на изследването намалява поради факта, че с по-малко техника се борави по-бързо. Сензорите, също така не трябва да бъдат нивелирани.

Способността на сензора да работи на всякаква ориентация увеличава скоростта на сеизмичното проучване (Фиг. 2). Записващата система VRSR използва транскрипционен процес, който разделя различните компоненти на индивидуални части, което също намалява времето за изследване. Накрая се получават по-точни данни, с които може да се работи по-лесно. Записването на информация с високо качество при терени с труден релеф с бързи повишавания на хълмовете е сериозно предизвикателство пред изследователите. Един от районите, където труден терен и близки до повърхността условия предизвикват сеизмиката е в южен Wyoming. Теренът варира от равни участъци до дълбоки каньони и стръмни хълмове. Близките до повърхността условия обикновено биват с трудна геология, ерозионно-устойчиви пластове смесени с неспоени пясъчници и дребнист чакъл. Тази обстановка създава необикновено предизвикателство пред сеизмичното изследване.



Фиг. 2. Ориентации на сензора

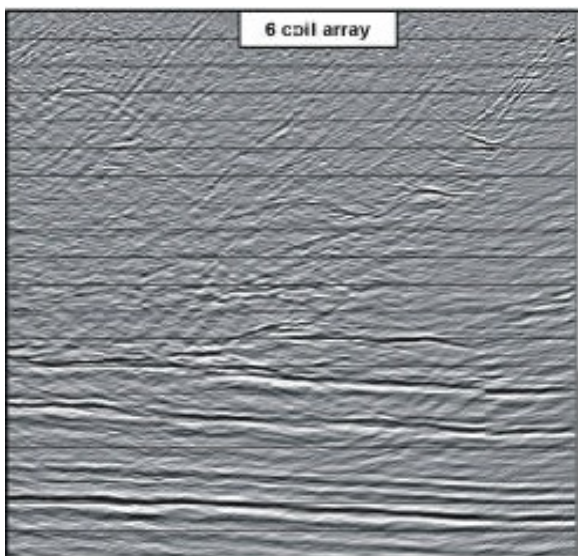
Един от общо приетите съвременни 3D методи за регистриране на сеизмична информация е, че отразената енергия пристига под формата на повърхностна вълна във вертикална посока. Когато вълната се разпространява през сложни терени, близки до повърхността пластове със сложна геология Р-вълните се разпръсват и могат да достигнат до повърхността почти под всякакъв ъгъл. 3С дигитален сензор(векторна сеизмика) записва движението на почвата в три измерения, което спомага отразената енергия да пристигне вертикално. Традиционните единични аналогови геофони успяват да уловят само едно направление на движението, докато с многокомпонентните сензори можем да запишем пълната-вълнова енергия (Фиг. 3) и да установим ъгълът под който тя пристига, както и нейната амплитуда.



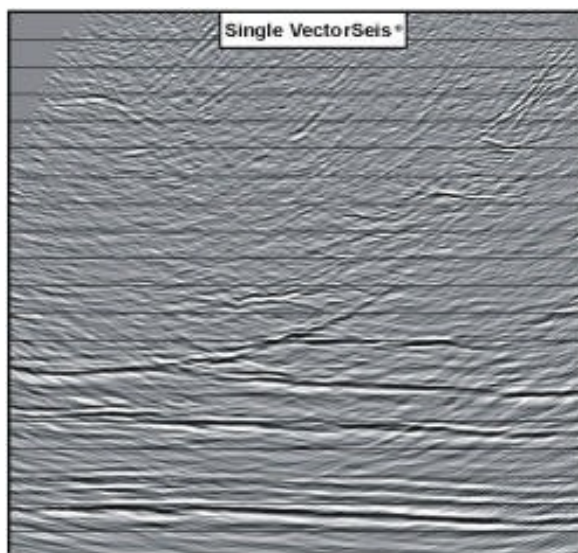
Фиг. 3. На фигурата е представен три-компонентен единичен сензор състоящ се от три идентични MEMS(micro-electro-mechanical system) акселерометрични чипа за високо честотно записване

В сложни терени това може да бъде от голяма полза. Полевият екип може да покрие стръмни терени, като сензорите могат да бъдат разположени по посока на наклона. Дигиталните сензори се справят с този проблем без загуба на обхвата си докато аналоговите геофони не могат. На десет градуса наклон аналоговите геофони губят около 50% и повече от тяхната производителност.

На следващата фигура (Фиг. 4.) е направено сравнение между получените данните от 6 разположени вертикални геофона и единичен векторно-сеизмичен сензор. Лесно може да се забележи, че качеството на данните на Фиг. 4(б) е по-високо. Профилите са от US Gulf Coast.



Фиг. 4(а). Сеизмичен профил получен чрез 6 вертикални геофона



Фиг. 4(б). Сеизмичен профил получен чрез единичен векторно-сеизмичен сензор

### Безжична сеизмика

Един от разработените приемници на пълното-вълново придобиване е платформата FireFly (безжична система).

Сърцето на FireFly е в FSU (Field Station Unit), което се състои от захранваща батерия, флаш (flash) памет, микро-процесор, както и от GPS (Global Positioning System) с множество комуникационни протоколи включително Bluetooth и VHF. Къса захранваща жичка свързва всяка FireFly кутия с векторно-сеизмичен приемник. Уредът е разработен и тестван от Input/Output Inc (I/O).

Този нов тип технология бива изпробвана в централната южна част на Wyoming от компанията British Petroleum (BP). Според много учени това може би не е най-подходящото място за тестване на технологията, особено през мразовитата зима където температурите падат до под  $-29^{\circ}\text{C}$ , но въпреки това полевите изследвания биват проведени. Там се намира гигантското газово находище Wamsutter, където BP планират да вложат \$2.2 милиарда. Находището се намира в район с изключително историческо значение, за това този методът е подходящ тъй като не вреди на околната среда.

Целта на изследването е да се добият качествени сеизмични данни за по-малко време, по-малък риск от нараняване на полевия екип и по-малко увреждане на почвата. Според I/O тежестта на кабелите и свързочната апаратура на едно сеизмично изследване може лесно да превиши 25 тона. Теглото, което директно допринася за разходите при транспортиране и мобилизиране на полевия екип може да бъде около 20% от разходите за едно „типично“ сеизмично изследване в северна Америка. При създаването на FireFly идеята на компанията е била да премахне около 80% от теглото на стандартните системи.

„FireFly премахва кабелите. Премахва пресичащите се връзки. Премахва някои от компонентите на терена като аналоговия преобразувател. Също така премахва и някои от компонентите контролиращи захранването на кабелната система” – това споделя Marty Williams главен вицепрезидент на I/O за проекта FireFly (*New Technology Magazine*, 2007).

**Безжична система.** Познат като полеви стационарен уред или FSU е поставен в пластмасова жълта кутия с размери колкото малка кутия за обяд. Произведени са около 10000 уреда (2007), като всеки един е оборудван с компютър с операционна система Linux и параметри близки до тези на лаптоп, но без клавиатура и екран. Също така има и къса захранваща жичка свързваща кутията FireFly със записващия векторно-сеизмичен сензор. Сеизмичният сигнал измерен от векторно-сеизмичния приемник бива записан на флаш памет, намираща се в кутията FireFly (пример за флаш памет: това са малки по размер карти, чиято памет може да бъде изтрита. Същите карти се използват и при дигиталните камери).

Като изключим тази малка захранваща жичка между FireFly кутията и векторно-сеизмичния сензор, цялата останала система е безжична (това е разликата между FireFly и така наречените телеметрично базирани системи, които имат само някои радио базирани връзки и отдалечени компоненти за контрол, но силно зависещи от свързочни кабели).

При първият полеви опит на FireFly, ВР извлича трикомпонентни сеизмични данни от площ с 28 квадратни мили в района на находището Wamsutter. 3С сензори като векторно-сеизмичния получават данните от едно вертикално и две хоризонтални измерения, като така илюстрират по-точна картина на вътрешността на земята, отколкото обикновеното триизмерно придобиване (3D).

ВР споделя, че въпреки, че за пръв път изпробват такава сложна система, като FireFly всичко е минало много добре. Не, че не са срещали проблеми, но те били очаквани и предвид, че системата се използва за пръв път и били лесно отстранени. По време на изследването биват записани около 7200 точки като няма нанесени щети на околната среда.

Понякога поради ограничения породени във връзка с околната среда, сигурността и други подобни, геофизиците съставящи плана за провеждането на изследване с екипировка базирана на кабели са принудени да направят компромиси за сметка на качеството на данните. I/O се надяват с помощта на безжичната система да позволи придобиване на възможно най-добрата пространствена и вертикална резолюция.

При провеждането на сеизмични изследвания в Wamsutter кабелите биха създали потенциален риск за операционния екип и заради това ВР ще бъдат принудени да направят компромиси, които ще намалят качеството, както на вертикалната, така и на пространствената резолюция. Изключително трудният терен, който е осеян със скалисти хълмове и стръмни дерета, би затруднил всеки и би било много рисковано да се работи, докато, ако се използва безжична система FireFly рискът е значително по-малък.

Благодарение на FireFly успешно се намалява риска от наранявания на полевия екип. Апаратурата е по-лека и за подготвянето за работа с нея се изискват минимални усилия, което спомага на екипа да се движи по-спокойно. Напълно подготвена и оборудвана раница, с която се пренася FireFly тежи около 25-27 килограма, като всяка раница съдържа 6 FireFly уреда, захранващи батерии и векторно-сеизмични приемници.

По време на полевата работа на ВР, раниците са били спуснати с хеликоптер на определени интервали по цялото трасе. След което екип тръгва по маршрута и трябвало да изкопае дупка, в която да разположи векторно-сеизмичния приемник, да поставят системата FireFly на земята и да се придвижат до следващата точка и повторят процедурата. Така напълно оборудваната раница губи от теглото си при всяка една точка. В момента на полагане на последната двойка от FireFly и векторно-сеизмичен приемник друга заредена раница е в готовност на земята като празната раница се оставя на земята и се взима другата (оборудвана), проверяват се координатите чрез GPS и се продължава. Докато при традиционните изследвания преди да се проведе сеизмичното проучване се изпраща екип, който трябва да обходи и маркира терена с помощта на колчета и флагчета, което оказва влияние на необходимото време за работа.

**Полеви методи.** Ето как FireFly наистина работи. Геофизици избират местоположението на източниците (взривни) и приемниците, след което ги вкарват в навигационно/позиционна система, която после направлява полевия екип къде да разполага всеки FireFly уред. Всички уреди се разполагат на терена с помощта на GPS, чието отклонение е от порядъка на 1-2 метра. Позиционирането на източниците на сеизмични вълни става по същия начин.

След провеждането на сеизмичното изследване в Wamsutter някои от малките жълти кутии са били покрити от около метър и половина сняг. След като уредите и раниците се съберат те биват сортирани и наредени една до друга, като така се улеснява свалянето на записаната от тях информация, зареждането на батериите и ако е необходимо се инсталират нововъведения по софтуеър (software) като всичко това става докато уредите са в самите раници (Фиг. 5).



Фиг. 5. На фигурата са показани раниците, съдържащи системата FireFly и векторно-сеизмичните приемници

Безжичната връзката между векторно-сеизмичния приемник и FireFly е с помощта на Bluetooth – най-често използваната система за предаване на данни на къси разстояния (като безжични клавиатури, безжични слушалки и др.). Bluetooth устройствата работят безотказно по време на цялото изследване. Системата GPS дава точното местоположение на FireFly относно хоризонталните X и Y координати, а вертикалната координата Z бива измерена с помощта на система LIDAR работеща на принципа на радарите, но използва инфрачервен лазер вместо радио вълни. FireFly е проектиран да бъде поставян от двама души, докато при обикновените сеизмични проучвания стандартно се използват четири.

Захранващите батерии на FireFly са литиево-йонни (lithium-ion), същите батерии се използват при лаптопите. Те са били проектирани да бъдат в готовност за работа за период от около 30 дни. Но поради големите закъснения породени от неблагоприятни метеорологични условия геофизиците са предполагали, че батериите ще трябва да бъдат презаредени, но се оказало, че те не са се

изчерпали въпреки, че някои приемници са престояли повече от два месеца на терена.

За съжаление не може да се каже колко време бива спестено на ВР използвайки векторно-сеизмични методи, тъй като сеизмичното изследване все още е в процес на работа (2007 г.), както и не може да бъде сравнено с провеждане на стандартно сеизмично проучване, защото не е ясно то колко време ще отнеме.

### **Заклучение**

Въпреки, че технологията е нова и все още подлежи на различни тестове смятам, че едно подобно сеизмично изследване в района на България би било добра инвестиция.

### **Литература**

*EAGE 64<sup>th</sup> Conference & Exhibition*. 2002. – Florence, Italy  
27-30, May.

*EAGE First Break*. 2007. Vol. 25, June.

*New Technology Magazine*. 2007. April/May.

Препоръчана за публикуване от  
Редакционен съвет