

ТЕХНИЧЕСКИ СРЕДСТВА И ТЕХНОЛОГИЯ ЗА ИЗГРАЖДАНЕ НА ЦИМЕНТОВИ МОСТОВЕ В ДОБИВНИ СОНДАЖИ ЗА РАЗСОЛ С ГОЛЯМ ДИАМЕТЪР

Валери Златанов

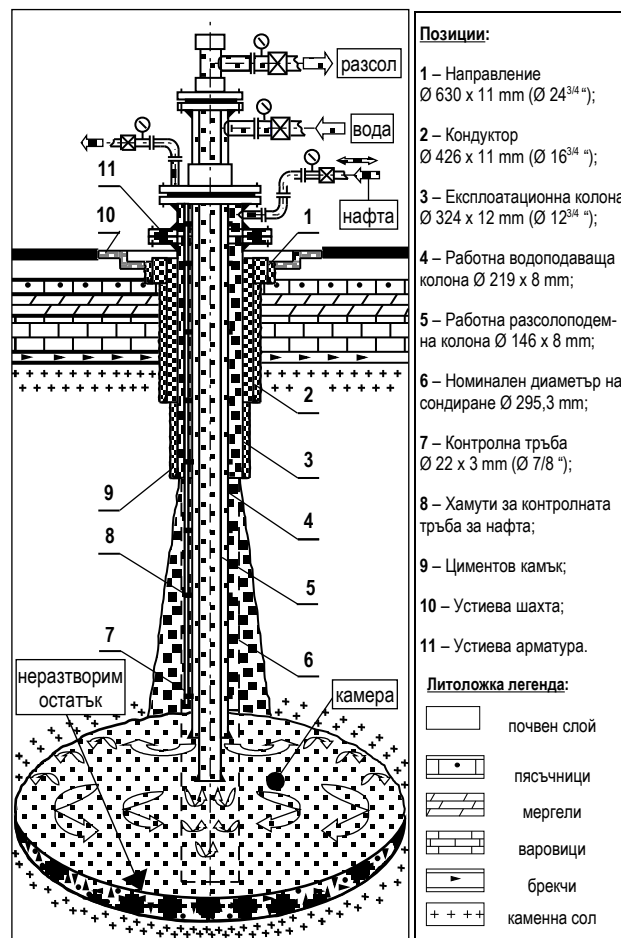
Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", София 1700, България, E-mail: vnz@staff.mgu.bg

РЕЗЮМЕ

Третира се проблем свързан с изграждане на циментови мостове в добивните сондажи за разсол на "Мировското солно" находище, които се характеризират с диаметри на проширяване в солното тяло в порядъка на 1,5 – 4,5 m. Това определя сериозни технологични и технически затруднения, съществено различаващи се от конвенционалните разбирания за провеждане на такива операции в сондажната практика.

Направен е анализ на факторите, влияещи върху качеството на провеждане на циментационни операции в солни отложения. Въз основа на него е представена и обоснована технологична схема за изграждане на циментовите мостове, базираща се на метода на "пробката-изкуствен забой" чрез последователното им изпълнение в два отделни и независими етапа. Разгледани са принципната конструкция и инсталирането на "пробката-изкуствен забой" в сондажите, както и технологията за поставяне на мостовете.

Експлоатацията на "Мировското солно" находище се осъществява чрез флуиден добив по метода на степенното размиване. Реализира се на три експлоатационни хоризонта, намиращи се на условни дълбочини от 1000 m, 1250 m и 1750 m, чрез добивни сондажи за разсол. Тяхната принципна конструкция е представената на **фиг. 1 [9]**.



Фигура 1. Принципна конструкция на добивен сондаж за разсол в "Мировското солно" находище.

От 1956 г. (началото на експлоатацията му по този метод) по настоящем в него са прокарани общо 42 броя добивни сондажи и се предвижда сондирането на още 15 броя такива в последния експлоатационен хоризонт. На този етап, 27 броя ($\approx 64\%$) от прокараните сондажи са спрени от работа вследствие на различна степен на аварийност [9]. В някои от тях е заложено провеждането на ремонтни операции, а други – подлежат на консервационно-ликвидационни работи поради изчерпване на експлоатационния им ресурс и / или икономическа нерентабилност от въвеждането им в повторна експлоатация.

Анализът на причините за високата аварийност на сондажния фонд показва, че тя е следствие на един сложен комплекс от взаимосвързани обективни и субективни фактори, натрупвани във времето. Те биха могли да се обобщат по следния начин:

- Пластичните деформации, възникващи в солното тяло, предизвикват: нарушения в цялостта на циментовия камък на експлоатационните колони; тяхната деформация в различна степен и / или нарушаване на цялостта им. В резултат се нарушава херметичността на сондажите;

- Наличието на около 25 – 30 % неразтворими включения в солния щок с различна едрина са причина за деформации и нарушаване на цялостта на работните колони, както и на запушвания на циркулационните им пространства. Възникващите при това недопустимо високи налягания дехерметизират сондажите;

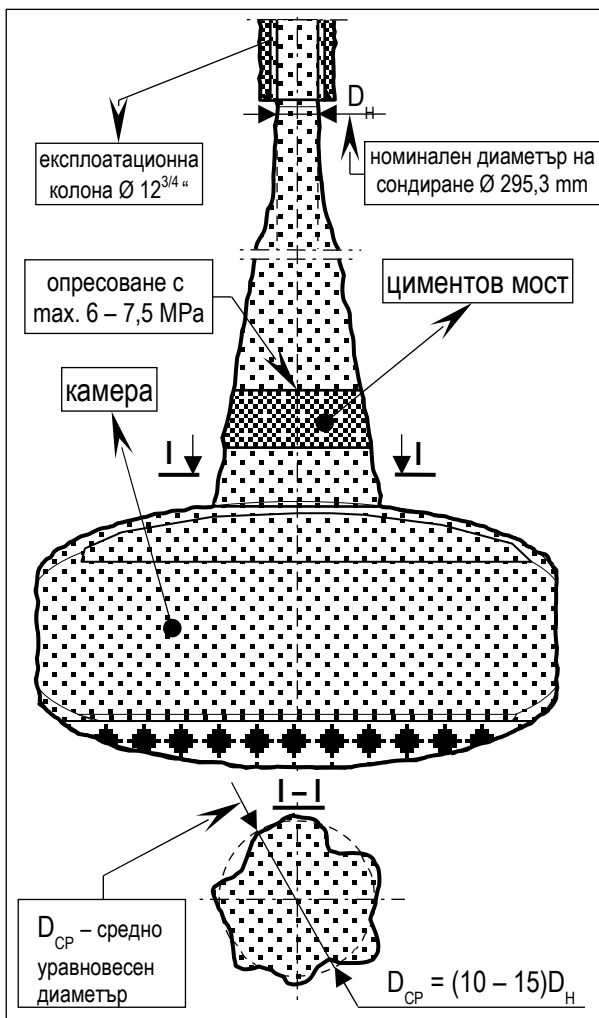
- Прилаганата технология на повдигане на работните колони "при нехерметизирано устие" е една от основните причини за значителното конусообразно проширяване на сондажите в дълбочина на солния щок и дестабилизация на системата сондаж-камера в хидравличен план;

- Съществена група от фактори се явява: неподходящата конструкция на сондажите, несъобразена с конкретните геолого-технически условия и режимите на експлоатация; тяхното изпълнение и качеството на вложения в тях тръбен материал; ефективността и формите на контрол

върху работата на сондажите, както и тези на добивните работи в находището като цяло.

Влошеното техническо състояние на сондажите се явява носител на две негативни тенденции. Едната – рефлектира върху технико-икономическата ефективност на добивните работи. Другата – имаща значим обществен резонанс, късае цялостната екологична обстановка в района на находището. Тя се свързва с [9]: констатираното замърсяване на подземните и грунтови води, включително и тези на р. Провадийска, с въглеродороди и тяхното осоляване; установената средна годишна скорост на вертикални слягания в порядъка на 40 mm; както и с повишената през последните години сеизмична активност в района на находището и прилежащите му пространства.

Отчитайки факта, че херметичността на сондажите е един от определящите елементи за ефективността и безаварийността на добивните работи, в Актуализирания проект за експлоатация на “Мировското солно” находище от 1999 г. е заложено тя периодично да се контролира. Тази операция, наричана в сондирането опресване на сондажите, трябва да се осъществява поне един път годишно или след няколко степени на повдигане на работните колони в тях. Нейното реализиране изисква изграждане на циментови мостове в работещите сондажи, така както принципно е представено на **фиг. 2**. Налягането на



Фигура 2. Принципна схема на условията за поставяне на циментови мостове в добивните сондажи.

опресване е нарастваща функция на дълбочината на сондажа, определящо се респективно от разликата в плътностите на течностите в него и хидравличните съпротивления възникващи при циркулацията им, коригирано с предвидения коефициент на сигурност. В този смисъл, неговите максимални стойности от 6 – 7,5 МПа се отнасят за сондажите от трети експлоатационен хоризонт. В спрени-те от работа сондажи също се налага поставянето на циментови мостове при подобни условия, за да се обезпечи и гарантира качеството на ремонтните и консервационно-ликвидационните работи в тях.

Конвенционално, изграждането на циментови мостове може да се разглежда като рутинна операция в сондирането на съвременния му етап. Прилагат се 4 – 5 принципни метода за поставянето им [2, 8, 11]. Те са обезпечени с богат набор от технически средства и рецептури на циментови разтвори, зависимост от предназначението на мостовете и условията им на изграждане. Повечето от методите се базират на установяването на хидравлично-балансирана гел-система в сондажа между промивната течност и циментовия разтвор, при което се постига успешност на операцията (качествено изграден мост от първия опит) в порядъка на 50 – 60 % [2, 8]. В последните години все по-често се прилага методът на “пробката-изкуствен забой”, при който се достига успешност 80 – 90 % [2, 8]. Последното е резултат на: стабилността и точността при поставяне на моста; редуцирането на проблемите свързани с необходимите съответствия в реологичните параметри и плътностите между изместваната и изместващата течности, при което е необходимо да се реализират и оптималните им хидравлични режими на движение; възможността да се акцентува върху рецептурата и параметрите на циментовия разтвор, гарантиращи формирането на качествена “контактна зона скала-циментов камък” и висока якост на последния за конкретните условия.

Изграждането на циментови мостове в добивните сондажи на находището при условията схематизирани на **фиг. 2** представлява сериозен технологичен и технически проблем, различаващ се съществено от конвенционалните разбирания за провеждане на такива операции в сондажната практика. В потвърждение на горното са: натрупаните до момента негативни резултати в добивните сондажи на находището, изразяващи се в отсъствието на официално документиран случай на успешно поставен мост в тях; и липсата на информация за подобни такива в световната практика. Анализът на причините за този проблем показва, че те са следствие на следните групи от фактори:

1. Тампонажните операции в солни отложения с разтвори на основата на минерални свързващи вещества, каквито са циментовите разтвори, продължават да предизвикват съществени затруднения и на съвременния етап [3, 4]. Първопричината за това е разтворимостта на стената на сондажа (от NaCl) от циментовия разтвор в резултат на неговото водоотдаване. Това води до формирането на некачествена “контактна зона”, включително до отсъствието на такава и влошаване на качеството на получавания циментов камък. Предотвратяването на горното налага циментовите разтвори да се приготвят с наситен солен

разтвор на NaCl (разсол) – така наречените солени циментови разтвори.

От друга страна насищането на разтворите е нарастваща функция на температурата и налягането, поради което приготвяйки се на земната повърхност, те проявяват някаква остатъчна разтваряща способност до достигане на пълно насищане за конкретните термо-барични условия в сондажа.

2. Високите концентрации на NaCl (близки до насищането $\approx 25 - 26\%$ при температура $22\text{ }^{\circ}\text{C}$) се отразяват неблагоприятно върху свойствата на циментовите разтвори и получавания циментов камък [1, 3, 4, 11], изразяващи се в: увеличаване плътността на циментовия разтвор; негативни изменения в реологичните му параметри – влошена тиксотропия до отсъствие на такава и понижена подвижност; значително удължаване на сроковете на свързване (начало и край на свързване), включително до отказ от втвърдяване за някои цименти; влошено сцепление в “контактната зона”; удължаване на времето за набиране на ранна якост на циментовия камък; намаляване на якостта на циментовия камък средно около 2 пъти, което се отразява негативно и върху неговите проницаемост и корозионна устойчивост.

Успешното използване на солени циментови разтвори на съвременния етап се съпътства с въвеждането в тях на добавки и обработването им с реагенти [1, 3, 4], които подобряват подвижността и сроковете им на свързване, повишават сцеплението в “контактната зона” и якостта на циментовия камък, но тиксотропията им остава нищожна.

3. Поставянето на мост чрез методи, базиращи се на “хидравлично-балансиращия” такъв е невъзможно. Причината за това е отсъствието на тиксотропни свойства в разсола и соления циментов разтвор, както и на такива в приготвяните с разсол колоидно-дисперсни буферни течности (каквито са глинестите) [1, 3, 10]. Горното не позволява създаването на гелобразни структури (“гел тапи”) с добри механични свойства, способни да разделят течностите и да реализират удържане на циментовия разтвор на зададено ниво.

Имайки предвид изложеното по-горе, прилагането на метода на “пробката-изкуствен забой” би могло да се разглежда като най-перспективно в такива условия. За поставянето на пробка-изкуствен забой (ПИЗ) в сондажната практика се използват разнообразни конструкции на технически средства. През последните години някои фирми предлагат на пазара сондируеми пакери с хидравлично действие, които биха могли да се използват като ПИЗ [12]. Добрите образци от тях се характеризират с коефициент на пакериране $1,4 - 1,8$, т.е. пакерите може да се поставят в сондажи с проширяване до $1,4 - 1,8$ пъти спрямо номиналния диаметър на сондиране.

Разработването на работоспособна и ефективна конструкция на ПИЗ за конкретните условия (фиг. 2) е сериозен технически проблем, определящ се от следните принципни изисквания: външен диаметър на устройството в транспортно положение $\varnothing 290 - 295$ mm; поставянето му в сондаж с условен диаметър $\varnothing 1500 - 4500$ mm без контакт със забоя му, при което коефициентът му на пакериране е $\approx 5 - 15$ в условия, при които надлъжния профил на стената на сондажа се характеризира със значителни неравности, а напречните сечения съществено се различават от кръговите такива; сигурно отделяне от устройството

след поставянето му, като то трябва да поеме натоварването от масата на циментовия разтвор; поставянето му да се съчетае с технологията за изграждане на моста.

4. За да изпълни успешно предназначението си, циментовият мост е необходимо да обезпечи херметичност и да поеме натоварването при опресоване. За тази цел той трябва да има определена височина, изчисляваща се по приети методики [2, 8].

Така например, за опресоване с $6 - 7,5$ MPa, при разглежданите условия, необходимата височина на моста е $60 - 75$ m. За изграждането му в сондаж с условен средно уравновесен диаметър $D_{\text{ср}} = 3500$ mm са необходими $\approx 577 - 722$ m³ солени циментов разтвор. Количеството на сухия цимент за приготвянето му е $\approx 762 - 953$ t при водоциментов фактор $\approx 0,5$. При средна плътност на един такъв разтвор ≈ 1940 kg/m³, неговата маса е $\approx 1120 - 1400$ t във въздушна среда или $\approx 426 - 532$ t в сондажа, отчитайки олекотяването му при средна плътност на разсола ≈ 1210 kg/m³. Посочените данни определят рамките на една такава тампонажна операция в аспектите на нейната организация, технологична и техническа обезпечености.

5. Възможностите за използване на тампонажни разтвори на основата на синтетични втвърдяващи се вещества са ограничени в условията на високо концентриран електролит на NaCl. От известните такива най-подходящи са синтетичните смоли и по-конкретно формалдехидната такава. Прилага се като двукомпонентна система, състояща се от смола и втвърдител (киселина). Зависимост от техните концентрации и съотношенията им на смесване регулира скоростта на реакцията – времето за втвърдяване. То протича в рамките на $\approx 1 - 15$ min и се влияе съществено от температурата, както показват проведените изследвания. След втвърдяване, смолата обезпечават отлично сцепление и има якост на натиск след 24 часа средно над $8 - 10$ MPa, при химическа инертност спрямо заобикалящата я среда и лесна сондируемост. Такива смоли се използват успешно в сондирането [3, 6], като бързо свързващи се смеси (БСС) при ликвидиране на някои усложнения, но в малки обеми [6].

Нейното практическо приложение в разглеждания случай се ограничава преди всичко поради следните икономически причини: цената на изходните материали за приготвянето на еденица обем тампонажен разтвор на основата на формалдехидна смола е около $5 - 6$ пъти по-висока, спрямо тази на циментов такъв; специфични допълнителни разходи за съхранение, транспортиране до работната площадка и въвеждане в повърхностното оборудване; необходимост от използването на допълнителни и специални технически средства за паралелното и независимо нагнетяване, и последващо смесване на двете компоненти на разтвора в сондажа; както и необходимостта от използване на ПИЗ за изграждането на моста.

От изложеното се оформят следните основни изводи:

1. Поставянето на мостове в добивните сондажи за разсол с голям диаметър е реализируемо при прилагане на метода на “пробката-изкуствен забой”.

2. За изграждането им е целесъобразно да се използват солени циментови разтвори, обработени с подходящите за конкретните условия добавки и реагенти.

3. Изграждането на циментови мостове при тези условия, като еднократна операция, практически може да се

счита за технически и технологично невъзможни, отчитайки необходимите количества на циментов разтвор и неговата маса от една страна, а от друга – от параметрите му на поведение за конкретните условия.

На базата на горните е разработена технологична схема за поставяне на мостовете, при която се постига баланс между практически постижимите технически параметри на една ПИЗ за разглежданите условия и количеството на циментовия разтвор, което да се нагнети първоначално в сондажа. Същността ѝ се изразява в разделяне на процеса на изграждане на мостовете на два основни и независими един от друг етапа, в които операциите протичат в следната последователност:

- През първия етап в сондажа се инсталира ПИЗ, след което върху нея се изгражда мост с височина в границите 1,5 – 4,5 m (зависимост от диаметър на сондажа) – наричан условно “временен” мост. Той е предназначен да поеме натоварването от масата на циментовия разтвор, необходим за изпълнението на моста, който ще трябва да подсури опресването на сондажа – така наречения “основен” мост. Разчетите показват, че това е напълно осъществимо при достатъчна сигурност;

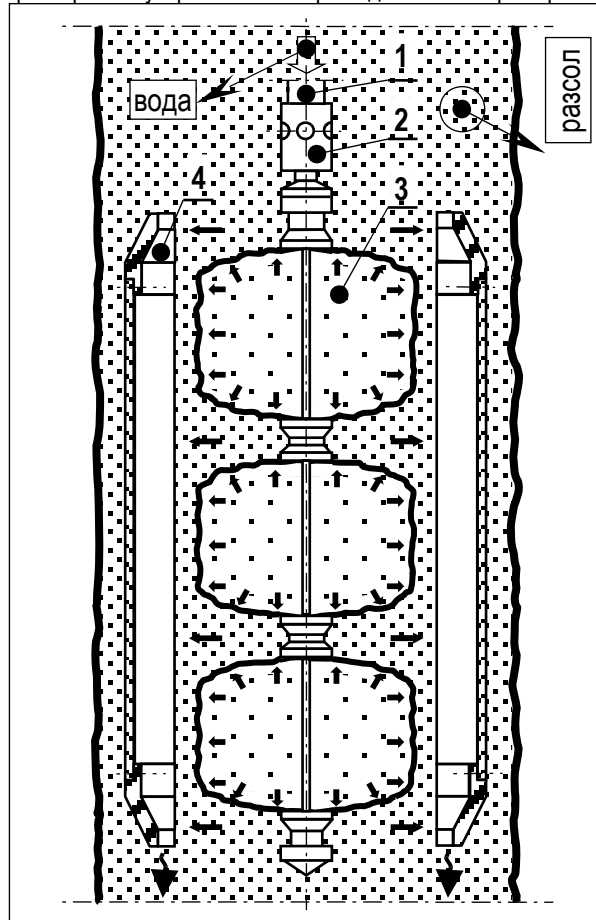
- Вторият етап, който може да стартира след като циментовият камък на “временния” мост е набрал необходимата якост, се свежда до изграждането на “основния” такъв. Неговото поставяне вече се превръща в една рутинна операция при тези условия. Тя може да се осъществи еднократно или на няколко стадия, което се определя от: обема на циментовия разтвор и неговите параметри на поведение; както и възможностите за мобилизиране на необходимите технически средства за реализация на операцията.

Представената двуетапна технологична схема дава възможност за значителна гъвкавост по отношение на планирането и организирането на тампонажните операции при поставяне на мостовете в сондажите на находището. Нейното успешно реализиране се определя преди всичко от работоспособността и ефективността на ПИЗ, която трябва да удовлетвори поставените към нея изисквания и обезпечи изграждането на качествен “временен” мост. Конструкцията на ПИЗ [5], представена на **фиг. 3** в процес на активиране в сондажа, се състои от следните възли: носещо устройство 2; кухи еластични елементи 3; и транспортен контейнер 4. Съответно:

- Носещото устройство 2 свързва сондажния лост 1 и кухите еластични елементи 3 и се характеризира с надлъжен проходен канал, осъществяващ хидравлична връзка между тях. Около него са оформени два стопорно-фиксиращи механизма, поместени в корпуса на устройството 2. След отделянето му от еластичните елементи 3 то се използва като циркуляционен накрайник при поставяне на “временния” мост;

- Кухите еластични елементи 3 се явяват активния, работен възел на ПИЗ, осъществяващ нейното инсталиране в сондажа. Те имат идентична конструкция помежду си, като всеки от тях се характеризира с малка дебелина на стената спрямо цялостната си геометрия. Последната представлява цилиндър затворен в двата си края от сферични сегменти. Еластичните елементи обхващат надлъжно проходни стебла, които са спирално перфорирани по дължина. Те завършват в двата си края с преходници,

свързващи отделните еластични елементи. Във всеки горен преходник е монтиран обратен клапан. Връзката между носещото устройство 2 и елементите 3 се осъществява от проходно вретено. То в горния си край е застопорено и фиксирано в устройството 2 чрез един от стопорно-фикси-



Фигура 3. Основни възли на ПИЗ и нейното активиране в сондажа.

раците му механизми, а в долния си край посредством резбово съединение се присъединява към горния преходник на първия еластичен елемент. В транспортно положение елементите 3 са навити около стеблата, като външно те се ограничават от оформящото се вътрешно цилиндрично пространство на транспортния контейнер 4.

- Транспортният контейнер 4 се състои от две напречно и надлъжно симетрични тръбни половинки, към краищата на които са монтирани идентични конусообразни капаци. Тези два основни елемента се свързват чрез пластинчати скоби, поместени в оформени за целта напречни канали по дължина на външната цилиндрична повърхност на тръбните половинки и се фиксират чрез глухи нитове.

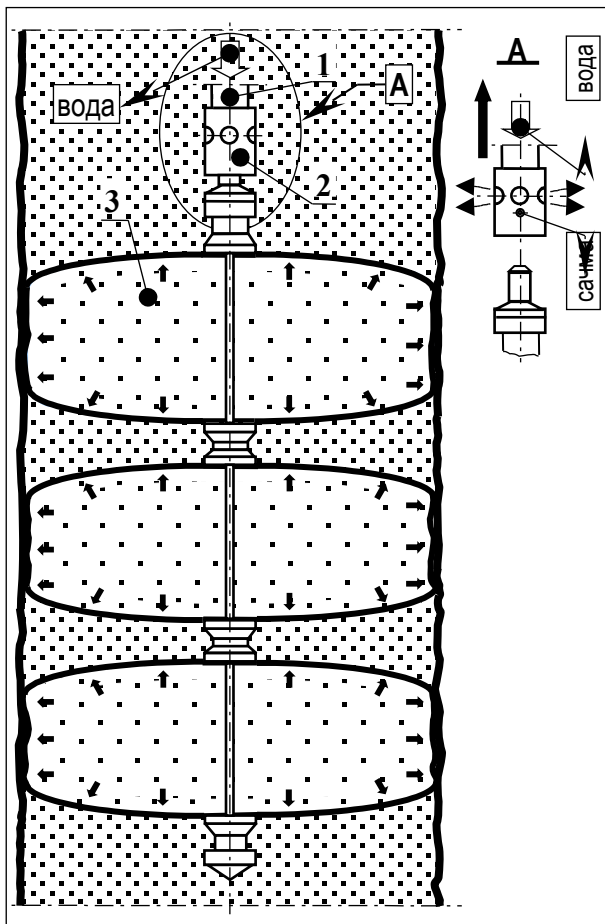
Инсталирането на ПИЗ се осъществява при отворен сондаж в следната последователност:

- На повърхността сондажният лост 1 се присъединява чрез резбово съединение към носещото устройство 2 при блокирани в него стопорно-фиксиращи механизми, при което еластичните елементи 3 са поместени в транспортния контейнер 4, имащ необходимата проходимост;

- Така окомплектована, ПИЗ се спуска на предвидената дълбочина в сондажа. Нейното активиране се реали-

зира чрез нагнетяване на вода по сондажния лост 1. В резултат на формиращото се при това налягане в елементите 3 и тяхното раздуване, нитовите на скобите на контейнера 4 се късат, освобождавайки елементите 3 от тръбните половинки на контейнера 4, така както е схематизирано на **фиг. 3**;

- Нагнетяването на вода продължава до достигане на зададения (предвидения) обем на елементите 3, базиращ се на средно уравновесения диаметър на сондажа D_{CP} . При това вътрешното налягане в елементите 3 и хидростатичното такова в сондажа се изравняват и процесите на застопоряване и пакериране може да се приемат за завършени, така както е показано на **фиг. 4**. При необхо-



Фигура 4. Инсталиране на ПИЗ в сондажа.

димост те биха могли да се финализират чрез реализирането на незначително надналягане в елементите 3. От една страна надежното инсталиране на ПИЗ се обезпечава от високата еластичност на елементите 3, които копират профила на стената на сондажа и формиращата се при това значителна резултантна сила на триене. От друга – то е резултат на аксиалната носеща способност на елементите 3, определяща се от резултантната подемна сила, възникваща в тях. Последната зависи от произведението на обема на изместваната от елементите 3 течност (разсол) и разликата в обемните тегла на разсола и водата. Това дава възможност, при зададен D_{CP} , нейната големина да се регулира чрез броя на елементите 3;

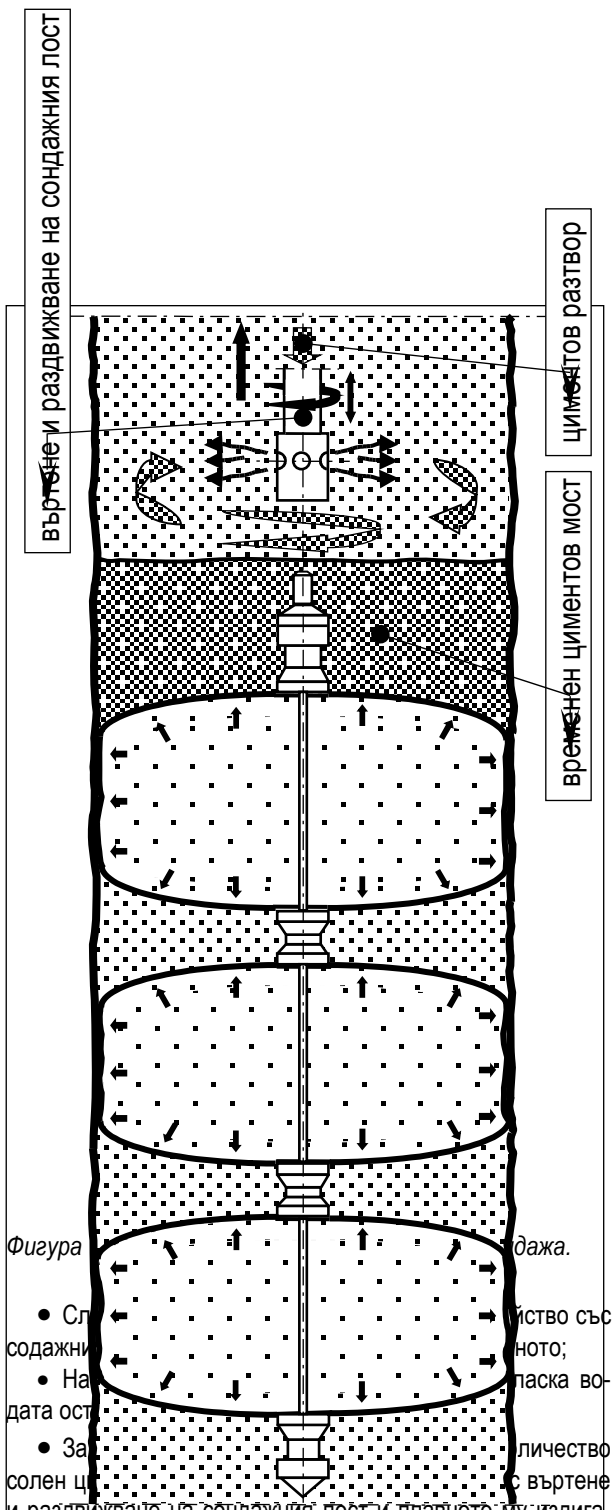
- След описаните операции се пристъпва към отделяне на носещото устройство 2 от елементите 3, което е схематизирано на изглед **A** на **фиг. 4**. Осъществява се

чрез хидравлично транспортиране на сачма по сондажния лост 1, която се стопира в предвиденото за целта легло в носещото устройство 2, при което неговите стопорно-фиксиращи механизми се отключват (разблокират). Възникващото при разблокирането налягане се разтоварва в сондажа през радиалните отвори в корпуса на носещото устройство 2. Чрез повдигане (опън) на сондажния лост 1, последното се освобождава от вретеното и свързаните към него еластични елементи 3.

Представената конструкция на ПИЗ се характеризира със следните основни предимства:

1. Надежно транспортиране до предвидената дълбочина в сондажа;
2. Сигурно активиране, съчетаващо се с отделяне на транспортния контейнер;
3. Висока надежност при инсталиране независимо от напречния и надлъжен профили на стената на сондажа без необходимост от контакт с неговия забой;
4. Използването на носещото устройство като циркуляционен накрайник съчетава конструкцията с технологията за поставяне на "временния" мост.

Изграждането на "временния" мост е схематизирано на **фиг. 5**. То протича в следната последователност:



Фигура 5. Схема на сондажния лост и плавното му издигане, както е илюстрирано на фиг. 5. Така използвайки носещото устройство като циркуляционен крайник се реализира турбулизация на потока, обхващаща цялата площ над ПИЗ, което обезпечава пълното и качествено изместване на разсола от циментовия разтвор [2, 7];

- Нагнетява се необходимото количество разсол като изтласкваща течност;
- Носещото устройство със сондажния лост се издигат на 1,5 – 2 m над горнището на моста и се осъществява промиване с разсол до един цикъл, съчетаващо се с въртене на сондажния лост;

• Сондажният лост с носещото устройство се изваждат от сондажа.

След горе посочените технологични операции поставянето на "временния" мост може да се счита за завършено. Сондажът се оставя в покой, за да протекат процесите на свързване на разтвора и набиране на необходимата якост на циментовия камък. Продължителността на този период зависи от използваната рецептура на соления циментов разтвор за конкретните условия.

Изграждането на "основния" мост върху опората каквато представява "временния" такъв се свежда до провеждането на стандартни циментационни операции. Те трябва да се съчетаят с прилагането на подходящи технологични прийоми, които да осигурят качествено изместване на разсола от циментовия разтвор [2, 7]. Възможностите този втори етап да се реализира еднократно или на няколко последователни стадия зависи: от една страна от реологичното поведение на циментовия разтвор, сроковете му на свързване и неговото количество, определящо се от диаметъра на сондажа и необходимата височина на моста; а от друга – от възможностите за организиране и мобилизиране на необходимите за целта технически средства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аризанов В., Янакиева Сп., 1986. Промивни течности и циментови разтвори в сондирането. *София, Техника.*
2. Ашрафьян М. О., 1982. Повышение качества разоб-щения пластов в глубоких скважинах. *Москва, Недра.*
3. Булатов А. И., 1988., Регулирование технологических показателей тампонажных растворов. *Москва, Недра.*
4. Булатов А. И., 1982., Тампонажные материалы и технология циментирования скважин. *Москва, Недра.*
5. Златанов В., 2002., Пробка изкуствен забой. Заявка за изобретение / 106376. *Патентно ведомство на Република България.*
6. Ивачев Л. М., 1982., Борба с поглациями проми-вочной жидкости. *Москва, Недра.*
7. Йорданов Д., Льомов Щ., Чакърв Б., 1987. Усъвършенстване технологията на поставяне на циментови мостове в сондажите. *Годишник на Минно-геоложкия институт, т. XXXIII, св. IV, 129 – 133.*
8. Серенко И. А., Сидоров Н. А., Кошелев А. Т., 1988. Повторное цементирование при строительстве и эксплуатации скважин. *Москва, Недра.*
9. Актуализиран проект за експлоатация на "Мировското солно" находище", 1999. "НИПРОРУДА" ЕАД, т. IV, книги 1 – 3.
10. George R. Gray, Darley H. C. H., 1981. Composition and properties of oil well drilling fluids. *Houston, Texas, Gulf Publishing Company.*
11. Nelson E. B., 1990. Well cementing. *Houston, Texas, Schlumberger Educational Services.*
12. Firm materials of Baker Hughes Incorporated., 2002. Baker oil tools. <http://www.bakerhughes.com>.

*Препоръчана за публикуване от
Катедра "Сондиране и добив на нефт и газ", ГПФ*