

## Промислени изпитания на нова ерлифтна технология за добив на елмазосъдържащи дънни отложения от шелфа на океана

**Валери Дробаденко, Николай Малухин**

*Московски държавен геологопроучвателен университет, Русия*

**РЕЗЮМЕ.** В периода от 2002 до 2004 г. в Московския държавен геологопроучвателен университет са проведени изследователски и конструкторски работи по разработването на ерлифтна система за добив на елмазосъдържащи дънни отложения на дълбочина до 100 – 150 м. Промислените работи са изпълнени от борда на елмазопеработваща платформа в шелфа на Атлантическия океан. Тези изпитания показват висока ефективност на предложената конструкция на товарно устройство помпен тип с механично и хидравлично разрушаване на материала за товарене.

За новите решения е издаден патент в Русия. Производителността по добив (в сравнение с действащи ерлифтни уредби) е увеличена повече от 2 пъти и достига до 180 – 200 м<sup>3</sup>/час скална маса, която представлява чакълено пясъчен конгломерат на елмазосъдържащ материал с включения до 5 % от заоблени камъни с размери 400 – 500 мм.

### LARGE-SCALE TESTS ON A NEW AIRLIFT TECHNOLOGY FOR PRODUCTION OF DIAMOND-CONTAINING DEPOSITIONS FROM THE OCEAN SHELF

**ABSTRACT.** Research and construction activities were carried out during the period 2002 – 2004 for development of an airlift system for diamond-containing depositions from a depth of 100 – 150 m at the Moscow State Geological University. The large-scale tests were performed from the board of a diamond-processing platform in the shelf of the Atlantic Sea. Those tests show the high efficiency of the suggested construction of a loading device of a pump-like type for hydraulic demolition of material for loading.

There is a patent registered in Russia for the innovative decisions. Productivity, compared to other air-lifting units, is increased more than 2 times and approximates to 180 – 200 m<sup>3</sup>/hour for rock mass, which is a pebble-sandy conglomerate of diamond-containing material with inclusions less than 5 % of rounded pebbles of size 400 – 500 mm.

В Московския държавен геологопроучвателен университет е разработен опитен промишлен образец на ерлифтното товарно устройство, което е произведено, монтирано, настроено и изпитано през 2004 год. на борда на морската платформата "Namibia Gem".

На добивния кораб са монтирани два броя ерлифтни уредби с диаметър на пулпопроводния тръбопровод 500 мм. Уредбите са разположени от двете страни на кораба. Едната от тях е комплектована с "традиционно" товарно устройство, използвано на морския съд от няколко години. Втората уредба е комплектована с опитно товарно устройство от нов тип и предварително хидравлично измерване на добивания, предварително разрушен материал за товарене от морското дъно. Освен това, на кораба е монтиран и обогатителен комплекс за преработване на раздробения материал, доставен от двете ерлифтни уредби едновременно. Работата на ерлифтните уредби и обогатителната фабрика е осигурено с необходимото количество генератори, дизелови компресори и електропомпи за вода.

Товарното устройство е твърдо свързано с металната ерлифтна тръба, дълга 24 м с общо тегло 22 тона. Понатък хидросместта постъпва до морския съд по каучоков дебелостенен (около 60 мм) подемен тръбопровод на ерлифта с вътрешен диаметър 500 мм. Металната ерлифтна тръба е окачена на две въжета от бордовите кранове – манипулатори. Предното въже – носовото, е закрепено към товарното устройство, задното – кърмовото – към фланеца, свързан с каучуковата подемна тръба. Разстоянието между крановете – манипулатори е около 20 м.

В работно положение ерлифтната метална секция е разположена към равнината на дънните елмазосъдържащи отложения под ъгъл, който се изменя в границите 20 – 70°. Технологията за товарене и засмукване се оценява от оператора по количеството на минна маса, постъпва в ситото за първоначално обогатяване. Посредством манипулиране на носовото и кърмовото въже от оператора, в зависимост от конструкцията на товарното устройство е възможно да бъде избрана различна схема и скорост за преместване на товарното устройство по дънните отложения:

- непрекъснато преместване в една посока и обратно;
- непрекъснато преместване на товарното устройство по дъното, при празен ход в обратна посока (едновременно повдигане на носовото и кърмовото въжета);
- преместване на товарното устройство по дъното с периодично спиране;
- преместване на товарното устройство по дънните отложения с периодичен кратковременен заден ход.

Различните допълнителни манипулации при движението по дъното на товарното устройство се определят от оператора при визуално наблюдение за количеството минна маса, която постъпва на трошачката. Времето от началото на манипулиране с товарното устройство до изменение ситуацията на ситото е от порядъка на 50÷140 сек. и се отчита от оператора.

Ефективността на технологията за ерлифтен добив на елмазосъдържащи скали като дънни отложения в значи-

телна степен се определя от техническите и технологични възможности на товарното устройство, а именно от неговата характеристика зависи производителността на ерлифта.

Съществуващата на борда на морския съд конструкция на товарно устройство се състои от засмукващо устройство с ширина 2 м и осем засмукващи отвора с размери 210×270 мм, като общата площ 2,31 пъти превишава площта на напречното сечение на подемния тръбопровод на ерлифта с диаметър 500 мм.

Натоварването на материала се осъществява за сметка на контакта на устройството, имащо профил на полусфера, със забоя на дънните отложения, в резултата на което засмуквания поток осъществява смиване на минната маса в междуребреното пространство на устройството.

Такава технология с този тип товарно устройство се явява неефективна по следните причини:

1. Значителното количество вода, постъпваща в ерлифта не участва в процеса на пулпоприготвянето, тъй като всмукващите устройства се преместват по повърхността на дънните отложения.

2. Необходимите скорост на засмукващия поток за до размиване на негабаритни късове, формиращи се в зоната за засмукване превишават тяхната хидравлична едрина. Ето защо за преместването на твърд материал, лежащ в зоната на засмукване, е необходимо да се приложат значително по-големи усилия в сравнение с възходящия поток в подемната тръба на ерлифта.

3. Водата при разглежданата технология на засмукване, по правило, не може да повдига частици, а при известни условия дори допълнително натоварва тези части. Допълнително налягане на водата се явява основно съпротивление, което трябва да бъде преодоляно за привеждане на твърдите частици в движение в междуребреното пространство.

Новото засмукващо товарно устройство с активиране на процеса за пулпоприготвяне има ширина два метра и осем прозореца с размери 180×220 мм, като общата им площ е 1,47 пъти по-голяма в сравнение с напречното сечение на подемния тръбопровод на ерлифта с диаметър 500 мм. Все пак, принципното различие между двете товарни устройства се състои в това, че при второто конструкцията му е снабдена с контактуваща със забоя люлееща се рама, имаща в долната си част един ред полуцилиндрични

засмукващи канали, равномерно разпределени по целия периметър на рамата, предотвратяващи достъпа на излишна вода до ерлифта.

Освен това, в централната част са монтирани зъби за механическо раздробяване и разрушаване на дънните отложения. Тези зъби са разположени в хоризонтална равнина, разместени един спрямо друг.

За хидроразрушаване на сравнително едрозърнест материал се използват четири броя напорни накрайници с напор 60 м вод. ст.

Конструктивните особености на новото товарно устройство предопределят следните негови предимства:

1. Изключва се натоварващото действие на водата.
  2. Създават се благоприятни условия за хидроподем и засмукване на предварително раздробена скална маса за сметка на хидродинамическото въздействие на напорните струи, които изтичат от накрайниците със скорост 33 м/сек.
  3. Скоростта на засмукване в равнината на товарното устройство е от порядъка на 2,7 м/сек., което позволява да се преместват и засмукват сравнително едър материал, предотвратяващ в значителна степен задръстването на устройството.
  4. Товарното устройство се експлоатира в режим на засмукване "изпод слоя материал". Ето защо засмуквания поток преди да попадне в засмукващите прозорци трябва да се филтрира в турболентен режим при критични скорости.
  5. За сметка на въздействие на хидроструята, настъпва изпреварващо хидроповдигане на елмазосъдържащия ситнозърнест материал около големите негабаритни обли камъни.
  6. Предлаганото товарно устройство позволява частично да се извършва механично разрушаване на скалните основания и по този начин да се осигурява засмукване на най-обогатения елмазен материал.
- В Таблица 1 са представени стойностите за хидравличната едрина  $U_v$  и скоростите за размиване при хидроподем на материала с хидравлични струи. Вижда се, че скоростите за размиване за дънни отложения, съдържащи обли камъни с различни размери са значително по-големи от хидравличната едрина в стеснените условия на засмуквания поток.

Таблица 1

Геометрични и динамични параметри на струята при хидроподем

Диаметър на овалните камъни, $d_T$ , мм	50	100	150	200	250	300
Скорост за свободно падане $U_v$ , м/сек.	1,57	2,21	2,7	3,1	3,5	3,83
Скорост на стеснено падане $U_{ст}$ , м/сек.	1,26	1,77	2,2	2,48	2,8	3,0
Размиваща скорост $U_{разм.}$ , м/сек.	2,6	3,65	4,46	5,1	5,8	6,32
Разсоаяние до забоя $L = 0,4$ м						
Осева скорост $U_{ос}$ , м/сек.	14,35	14,35	14,35	14,35	14,35	14,35
Средна скорост $U_{ср}$ , м/сек.	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9
Диаметър на струята при контакт със забоя, $D_{ср}$ , мм	223	223	223	223	223	223
Разсоаяние до забоя $L = 0,25$ м						
Осева скорост $U_{ос}$ , м/сек.	18,6	18,6	18,6	18,6	18,6	18,6
Средна скорост $U_{ср}$ , м/сек.	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6	7,6
Диаметър на струята при контакт със забоя, $D_{ср}$ , мм	168	168	168	168	168	168

Хидродинамическите и качествени показатели за преместване на многофазни потоци по проточната част на товарното устройство (движи се двуфазна смес) и ерлифта (движи се трифазна смес) и на неговия изход са различни, както е различен и енергийния баланс, оценяван по тези характеристики.

Заедно с това, основните енергийни показатели на преместваната хидросмес (загуби на налягане от триене), от поддържане на твърдата част в повдигнато положение (загуби в товарното устройство), местни загуби, се оценяват по разходните параметри на потока на изхода, а не по действителните в проточната част на хидродобивния агрегат по цялата височина на подемната тръба на ерлифта.

Следователно, необходимостта от отработването на дълбокозалагащи дънни отложения (при което в значителна степен нарастват и загубите на триене), участъци с едър конгломерат (където определящата роля ще бъде представена от загубите за поддържане на твърдата част от материала в повдигнато състояние и в товарното устройство) изисква оценка за енергийния баланс на хидроподема на основата на действителната хидродинамична ситуация по дължината на подемната тръба на ерлифта, а не по разходните показатели на потока при изхода.

Изхождайки от това, проектирането на ерлифтни ситеми за хидроподем, както по производителност, така и по

оценка на необходимия разход на въздух се извършва в следната последователност:

1. Външно налягане в равнината на товарното устройство.
2. Загуби от триене в товарното устройство и на входа на потока от хидросмес в равнината на засмукване.
3. Хидростатично налягане от теглото на хидросместта в засмукващата линия на ерлифта.
4. Пълни загуби на налягане на 2-фазен поток на хидросмес в засмукващата линия на ерлифта.
5. Динамическо налягане, създавано от ерлифта в процеса на неговата работа.
6. Хидростатично налягане от теглото на 3-фазна смес (вода + твърд материал + газ) над смесителя на ерлифта.

Съставянето на баланса на налягането по дължината на линейната част на ерлифта и последвалите разчети показват, че минимално необходимия разход на въздух за ефективната работа на ерлифта трябва да бъде не по-малко от  $V_0 = 96 \text{ м}^3/\text{мин}$ .

Производителността на ерлифта по хидросмес при дълбочина на добив 100 м е от порядъка на  $Q = 2800 \text{ м}^3/\text{сек}$ , а при дълбочина на добив 50 м –  $Q = 2600 \text{ м}^3/\text{сек}$ .

Основните технически данни на новото товарно устройство са представени в Таблица 2.

Таблица 2

Технически данни за новото товарно устройство

Производителност на ерлифта, $\text{м}^3/\text{час}$	2500 ± 300	
Диаметър на ерлифтната тръба, мм	500	
Максимална дълбочина на добив, м	100	
Хидроразрушаване на дънните отложения:		
- производителност, $Q_p, \text{м}^3/\text{час}$	450	
- напор в крайника, м.вод.ст.	60	
- брой крайници, бр.	4	
- средно разстояние от крайниците до забоя, мм	50	
- скорост на отворите при засмукващ разход $Q_n = Q_{\text{сум}} - Q_p = 2800 - 450 = 2350 \text{ м}^3/\text{час}$	6,5	13
- метод за работно преместване на материал – приемното устройство	люлко-образно за сметка на хоризонталната компонента в окачването, без покритие на по-рано отработен участък или с покритие, но без товарно устройство	вертикално, с периодично хоризонтално преместване след отделяне на приемното устройство от забоя, без покритие на по-рано отработения участък
Зона за контакт на материал – приемното устройство със забоя		
- дължина, м	2,1	
- ширина, м	0,5	
- повърхност, $\text{м}^2$	1,0	
Размери на решетката в гърловината на засмукващата глава в светло, мм	180×200	
Маса на материал – приемното устройство, кг	2070	2090

Основна цел при изпитанията се явява осигуряването на максимална часова производителност при добив на елмазосъдържащи конгломери от дъното на океана. Изпитанията са проведени в екваторията на Г.Людерц (Намибия), като избора на конкретните участъци с размери 250×200 м се извършваше по следните критерии: дълбочина на залагане, характер на геоложкия строеж и нали-

чието на фактически данни за опробване на дънни отложения, мощност и съдържанието на елмаз. За провеждане на изпитанията са избрани 6 участъка с различна дълбочина: 45-50 м; 65-70 м; 90-95 м, при мощност на отложенията от 1,5 до 5 м (по 3 участъка за всеки лиценз). Характерът на геоложките разрези на отложенията, дълбочината на залагане, съдържанието на елмаз и

параметрите на взетите проби са фиксирани на геоложки колонки, построени по данните от сондажните проби.

Необходимо е да се отбележи, че на кораба нямаше измерителна апаратура за определяне количеството на твърдия материал, постъпващ от ерлифтната уредба на приемните решетки на виброситото. Ето защо наблюденията за работата на ерлифтните уредби и количеството на твърдия материал, постъпващ от ерлифтните уредби се извършва с използването на визуални оценки и видеоснимки за постъпващата минна маса на ситото за определен интервал от време.

В хода на изпитанията е проведена експертна оценка за получената минна маса до вибрационното сито от независими експерти, като в това число се отчита и гранулометричния състав на предварително проучени геоложки разрези през 2002 – 2003 г.

В Таблица 3 са представени определените часови производителности на новото товарно устройство, изчислени по данни на хронометражните наблюдения.

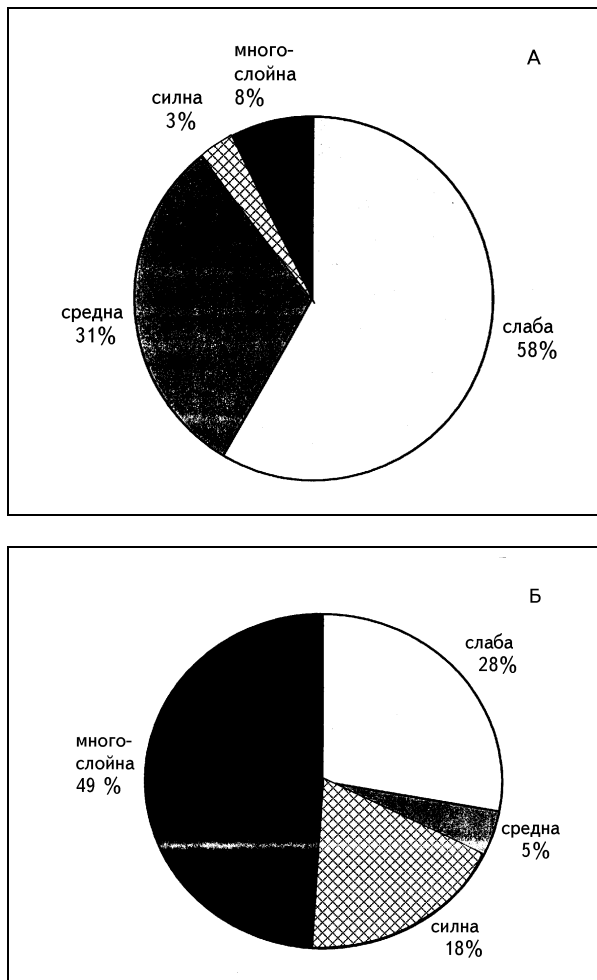
Таблица 3  
Разчетна производителност на устройствата по скална маса

Разработвани площи	Производителност		Експерт
	тон/час	в сравнение със "старата" ерлифтна уредба	
Участък № 1	499,8	2,6 пъти повече	№ 1
	524,8	2,7 пъти повече	№ 2
Участък № 2	-	3,5 пъти повече	№ 1
	595,1	3,1 пъти повече	№ 2
	532,5	2,7 пъти повече	№ 3
Средна стойност	552,1	2,9 пъти повече	

Резултатите от хронометражните наблюдения показват, че степента на натоварване на виброситото е била нестабилна тъй като многослойното натоварване при работа на новото товарно устройство се наблюдава по-често (49 % от общото работно време срещу 8 % при съществуващото). На фиг. 1 са представени диаграми, характеризиращи продължителността и количеството на материала на ситото 12 мм. Слабото натоварване озна-

чава, че материалът закрива 15 % от решетките, средната – 50 %, силната – 100 %, многослойната – 200 % и повече.

По такъв начин, резултатите от проведените изпитания, основани на различни експертни оценки за производителността на ерлифтен добив с новото товарно устройство показва увеличаване на часовата производителност по твърди компоненти средно 2,9 пъти.



Фиг. 1 Степен и продължителност на натоварване на виброситото за стара (А) и нова (Б) конструкция на товарното устройство