



СОЮЗ СОВЕТСКИХ  
СОЦИАЛИСТИЧЕСКИХ  
РЕСПУБЛИК

(19) SU (11) 1781497 A1

(51) F 16 L 1/18

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ  
ПО ИЗОБРЕТЕНИЯМ И ОТКРЫТИЯМ  
ПРИ ГКНТ СССР

# ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ

1

(21) 4888012/29  
(22) 16 10 90  
(46) 15 12.92. Бюл. № 46  
(71) Институт электросварки им. Е.О. Патона  
(72) С.М. Билецкий  
(56) Авторское свидетельство СССР  
№ 1571349, кл. F 16 L 1/04, 1988 (непубл.)  
(54) СПОСОБ СООРУЖЕНИЯ ПОДВОДНОГО ТРУБОПРОВОДА  
(57) Сущность изобретения: подводный трубопровод (ТП) размещают на плавучем в створе

2

перехода, оснащают балластирующими устройствами. Плавучесть устройств предварительно регулируют частичным заполнением их объема балластом. Погружают ТП заполнением устройств водой. Оснащение ТП устройствами осуществляют предварительно на берегу. В качестве устройств используют расположенные параллельно ТП и соединенные с ним гибкими тягами ТП, в качестве балласта — бетонный объем которого определяют из заданных соотношений. 2 ил.

Изобретение относится к способам сооружения подводных, в т.ч. морских, трубопроводов.

Подводный участок трубопровода отличается от аналогичного ему, но укладываемого на суше, тем, что масса одного погонного метра трубопровода, уложенного на дно, должна быть больше выталкивающей силы, действующей на погонный метр подводного трубопровода. Устойчивое положение подводного трубопровода на дне обеспечивается в том случае, если отношение его единицы массы к выталкивающей силе (коэффициент устойчивости) больше единицы (отрицательная плавучесть) и составляет обычно 1,15–1,6. Значение коэффициента устойчивости для конкретного участка подводного трубопровода выбирается в зависимости от скорости подводных течений, состояния дна, зоны укладки и др. параметров.

Сами по себе трубопроводы диаметром 1020–1420 мм с расчетной толщиной стенки на рабочее давление 7,4–9,8 МПа не обладают отрицательной плавучестью. Переходы через водные преграды (дюкеры) таких тру-

бопроводов (или морские участки их) выполняются с приданием им отрицательной плавучести путем дополнительной балластировки. Утяжеление подводного участка трубопровода (балластировка) осуществляется либо сплошным обетонированием, либо навеской на трубопровод утяжеляющих чугунных или железобетонных грузов.

Укладка подводных трубопроводов на дно водной преграды или в траншею на дне осуществляется путем протаскивания по дну, свободным погружением или с плавучих средств.

Практически во всех случаях трубопроводу еще до опускания на дно придается требуемая отрицательная плавучесть, например, с помощью сплошного обетонирования, а транспортирование к месту укладки и опускания на дно осуществляется с применением большого числа разгружающих понтонов, которые обеспечивают плавучесть плети. При заполнении водой понтонов или их отстроповки, плеть тонет и опускается на дно или в траншею на дне водной преграды. Затонувшие понтоны отстегивают и подни-

(19) SU (11) 1781497 A1

мают на поверхность, где их собирают и транспортируют на берег.

Недостатком технологии применения понтонов в сочетании с обетонированной трубой является достаточно высокая стоимость изготовления самих понтонов, а также большая трудоемкость по их установке, а главное – их съему с трубопровода в процессе погружения, а часть понтонов – водолазами под водой, если дистанционная система отстроповки не сработала.

Обетонирование, имея свои преимущества, имеет и существенный недостаток, заключающийся в усложнении поиска утечек газа под бетонным покрытием и сложностью подводного ремонта из-за необходимости снятия под водой бетонного (с сеткой) покрытия.

Технология укладки плетей подводного трубопровода существенно упростилась, если бы балластирующее устройство, установленное на необетонированную трубу, имеющую положительную плавучесть, сохраняло бы еще общую положительную плавучесть всей системы (близкую к нулевой), а после заполнения балластирующего устройства водой система (основная труба совместно с балластирующим устройством) обладала бы требуемой отрицательной плавучестью с коэффициентом устойчивости на дне более 1,15.

Целью изобретения является способ сооружения подводного трубопровода, при котором можно отказаться от нанесения утяжеляющего бетонного покрытия на основную трубу или применения отдельных понтонов-утяжелителей, а также от изготовления, установки и снятия разгружающих понтонов при погружении на дно подводных трубопроводов, что повысит производительность работ и упростит балластировку.

Поставленная цель достигается за счет оснащения трубопровода балластирующими устройствами в виде вспомогательных трубопроводов, частично заполненных бетоном, которые последовательно выполняют функции разгружающих понтонов, пока они не заполнены водой, и утяжеляющих пригрузов, после заполнения их водой.

На фиг. 1 и 2 представлена принципиальная идея балластировки.

Пучок труб состоит из основной трубы 1 и вспомогательных труб 2, прикрепляемых к основной трубе с помощью стяжек 3. Часть объема каждой вспомогательной трубы или объем части вспомогательных труб заполнен бетоном 4. Задача состоит в том, чтобы к заданной основной трубе с положительной плавучестью подобрать вспомогательные трубы и частично их заполнить бетоном

так, чтобы при расчетных объемах пустых полостей вспомогательных труб общая система плавала с заданной положительной плавучестью ( $q$ ), а при заполнении их водой – тонула и обладала при этом также заданной расчетной отрицательной плавучестью с коэффициентом устойчивости (отношение массы трубопроводов в воде к выталкивающей силе)  $K = 1,15$ .

Такое возможно при определенных значениях коэффициента (доля) заполнения бетоном объема вспомогательных труб. Определить его можно, базируясь на следующих положениях.

Находящийся на дне водной преграды с заданным коэффициентом устойчивости  $K$  трубопровод должен удовлетворять следующее неравенство:

$$\Sigma G_{тр} + \beta V_{доп}^B \rho_b + \rho_b (1 - \beta) V_{доп}^B \geq (V_{осн}^H + V_{доп}^H) \rho_b \cdot K$$

Откуда, после преобразования, получаем

$$\beta \geq \frac{K(V_{осн}^H + V_{доп}^H) \rho_b - \Sigma G_{тр} - V_{доп}^B \rho_b}{V_{доп}^B (\rho_b - \rho_b)} \quad (1)$$

В то же время для обеспечения плавучести (с заданной положительной плавучестью  $q$ ) на поверхности водной преграды должно обеспечиваться условие:

$$\Sigma G_{тр} + \beta V_{доп}^B \rho_b \leq (V_{осн}^H + V_{доп}^H) \rho_b + q$$

$$\beta \leq \frac{(V_{осн}^H + V_{доп}^H) \rho_b - \Sigma G_{тр} + q}{V_{доп}^B \rho_b} \quad (2)$$

В формулах (1, 2) приняты следующие обозначения:

$\beta$  – коэффициент (доля) заполнения бетоном балластирующих труб;

$V_{осн}^H$  – наружный объем одного метра трубопровода;

$V_{доп}^H$  – наружный объем одного метра балластирующих трубопроводов;

$\rho_b$  – плотность воды;

$\rho_b$  – плотность бетона;

$\Sigma G_{тр}$  – масса 1 п. м. всех труб в системе;

$V_{доп}^B$  – внутренний объем 1 п. м. балластирующих трубопроводов;

$K$  – заданный коэффициент устойчивости системы трубопроводов на дне водоема;

$q$  – заданная положительная плавучесть системы трубопроводов.

Если значение  $\beta$  будет удовлетворять неравенствам (1) и (2), то условие о плавуче-

сти системы труб с положительной плавучестью  $q$  и обладание этой же системой отрицательной плавучестью с коэффициентом устойчивости на дне  $K \geq 1,15$  после заполнения водой свободных объемов вспомогательных труб будет обеспечено.

**Пример 1** (фиг. 1). Принимаем основную трубу размером  $1220 \cdot 19,1$  мм (подводный газопровод на рабочее давление 7,4 МПа) из стали 08Г2ФТ и дополнительные трубопроводы из труб размером  $720 \cdot 7$  общего назначения из Ст. 3. Часть объема вспомогательных труб заполняем бетоном с плотностью  $2850 \text{ кг/м}^3$ . Морская вода имеет плотность  $1025 \text{ кг/м}^3$ . Заданная положительная плавучесть  $q = 60 \text{ кг/п.м.}$  По принятым исходным данным определяем объем (по наружному диаметру) 1 п.м. основной трубы  $V_{\text{осн}}^H = 1,168 \text{ м}^3$ , объем (по наружному диаметру) 1 п.м. дополнительных труб —  $V_{\text{доп}}^H = 2 \cdot 0,407 = 0,814 \text{ м}^3$ , масса 1 п.м. основной трубы —  $572 \text{ кг}$ , масса 1 п.м. дополнительных труб  $2 \cdot 123 = 246 \text{ кг}$ ,  $V_{\text{доп}}^B = 2 \cdot 0,3912 = 0,7824 \text{ м}^3$ .

По формулам (1) и (2) определяем значение коэффициента заполнения бетоном:

$$\beta \geq \frac{K(V_{\text{осн}}^H + V_{\text{доп}}^H)\rho_B - \sum G_{\text{тр}} - V_{\text{доп}}^B \rho_B}{V_{\text{доп}}^B(\rho_B - \rho_B)} =$$

$$= \frac{1,15(1,168 + 0,814)1025 - 818 - 0,7824 \cdot 1025}{0,7824(2850 - 1025)} = 0,5$$

$$\beta \leq \frac{(V_{\text{осн}}^H + V_{\text{доп}}^H)\rho_B - \sum G_{\text{тр}} + q}{V_{\text{доп}}^B \rho_B} =$$

$$= \frac{(1,168 + 0,814)1025 - 818 + 60}{0,7824 \cdot 2850} = 0,57$$

Как видно из полученных результатов  $\beta$  больше 0,5, но меньше 0,57, т. е. заполнение трубы бетоном должно быть в пределах от 50 до 57% объема вспомогательных трубопроводов.

**Пример 2** (фиг. 2). Принимаем ту же основную трубу размером  $1220 \cdot 19,1$  мм. В качестве вспомогательных труб принимаем четыре трубы размером  $530 \cdot 6$  мм общего назначения из Ст. 3. Для них  $V_{\text{осн}}^H = 0,882 \text{ м}^3$ , масса 1 п.м. (G) =  $309 \text{ кг/п.м.}$ , внутренний объем 1 п.м. —  $V_{\text{доп}}^B = 0,840 \text{ м}^3$ , плотность бетона для заполнения —  $\rho_B = 2700 \text{ кг/м}^3$ .

Определяем по формуле (1) и (2) значение  $\beta$ .

$$\beta \geq \frac{K(V_{\text{осн}}^H + V_{\text{доп}}^H)\rho_B - \sum G_{\text{тр}} - V_{\text{доп}}^B \rho_B}{V_{\text{доп}}^B(\rho_B - \rho_B)} =$$

$$= \frac{1,15(0,882 + 0,882)1025 - 881 - 0,84 \cdot 1025}{0,84(2700 - 1025)} =$$

$$= \frac{2416 - 881 - 861}{1407} = \frac{674}{1407} = 0,48$$

$$\beta \leq \frac{(V_{\text{осн}}^H + V_{\text{доп}}^H)\rho_B - \sum G_{\text{тр}} + q}{V_{\text{доп}}^B \rho_B} =$$

$$= \frac{(1,168 + 0,882)1025 - 881 + 60}{0,84 \cdot 2700} =$$

$$= \frac{2101 - 881 + 60}{2268} = \frac{1280}{2268} = 0,56$$

Как видно из этих результатов  $\beta$  больше 0,48, но меньше 0,56, т. е. объем заполнения в пределах от 48 до 56% объема вспомогательных трубопроводов.

На фиг. 2 показано, что из четырех вспомогательных труб две заполнены бетоном, а две — нет, т. е. коэффициент заполнения  $\beta = 0,5$  и условие  $0,48 < \beta < 0,56$  выполнено.

Изготавливать составную систему труб следует следующим образом

Вспомогательные трубы длиной по 11–12 м предварительно заполняют требуемым количеством бетона. В варианте, показанном на фиг. 2, это очень просто, т. к. две трубы полностью, отступив от края ~ по 100 мм, заполняют бетоном, а две — оставляют пустыми.

На специальной роликовой площадке (стапеле) последовательно собирают, пристыковывая последовательно одну к другой, трубы (как при сборке на бровке траншеи при сооружении обычных подземных трубопроводов) основного и балластирующих (с некоторым отставанием) трубопроводов, скрепляя их между собой стяжками так же как обычно крепят понтоны.

Возможно предварительное изготовление составных плетей замой на льду.

Изготовив плетя требуемой длины, устанавливают по концам основного и вспомогательных трубопроводов заглушки. Возможен вариант, когда применяется сочетание части труб с бетоном, а части труб пустых (фиг. 2). Трубы с бетоном в этом варианте можно не стыковать между собой.

При соответствующей погоде составная плетя, имеющая положительную плавучесть, выводится на плаву к месту затопления и путем заполнения водой пустого объема балластирующих трубопроводов, что придает ей отрицательную плавучесть, погружается на дно или траншею на дне водоема. Плетя стыкуются между собой по основной трубе. При желании использовать

балластирующие трубопроводы для транспортировки сопутствующих продуктов и: также стыкуют между торцами на фланцах с отводами или без них.

Оценка эффективности предложенной конструкции морского трубопровода была на стадии ТЭО выполнена ВНИИПИШельф (г. Симферополь) по сравнению с вариантом обетонированным трубопроводом диаметром 1220 мм, укладываемым традиционным способом, применительно к переходу через Байдарацкую губу.

Затраты по строительно-монтажным работам составили на 1 км подводного перехода в предлагаемом варианте 1,077 млн.руб., а в варианте обетонированной трубы 1,291 млн.руб., а с учетом всех капложений на 70 км перехода через Байдарацкую губу соответственно 193,4 млн.руб. и 212,2 млн.рублей, т.е. снижение стоимости одной нитки перехода составило 19 млн.рублей.

#### Формула изобретения

Способ сооружения подводного трубопровода, заключающийся в размещении его на плаву в створе перехода, оснащении балластирующими устройствами, плавучесть которых предварительно регулируют частичным заполнением их объема балластом и погружении трубопровода последующим заполнением балластирующих устройств водой, отличающийся тем, что оснащение трубопровода балластирующими

устройствами осуществляют предварительно на берегу, при этом в качестве балластирующих устройств используют расположенные параллельно ему и соединенные с ним гибкими тягами трубопроводы, а в качестве балласта — бетон, объем которого определяют из соотношений

$$\beta \leq \frac{\rho_a (V_{осн}^H + V_{доп}^H) - \sum G_{тр} + q}{\rho_b V_{доп}^B}$$

$$\beta \geq \frac{K(V_{осн}^H + V_{доп}^H)\rho_a - \sum G_{тр} - \rho_a V_{доп}^B}{(\rho_b - \rho_a)V_{доп}^B}$$

где  $\beta$  — коэффициент заполнения бетоном балластирующих устройств;

$V_{осн}^H$  — наружный объем одного погонного метра трубопровода;

$V_{доп}^H$  — наружный объем одного погонного метра балластирующих трубопроводов;

$V_{доп}^B$  — внутренний объем одного погонного метра балластирующих трубопроводов;

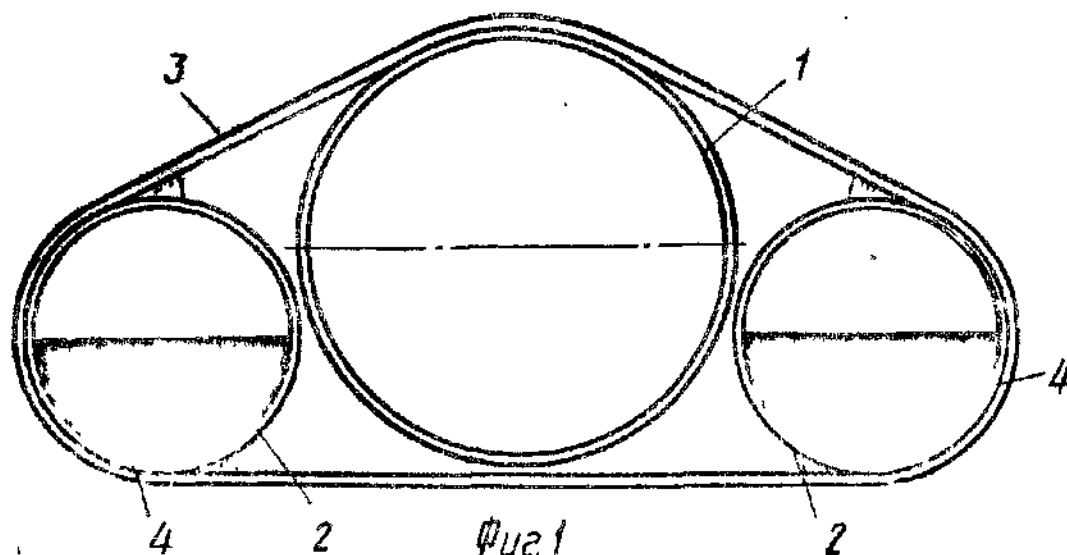
$\rho_a$  — плотность воды;

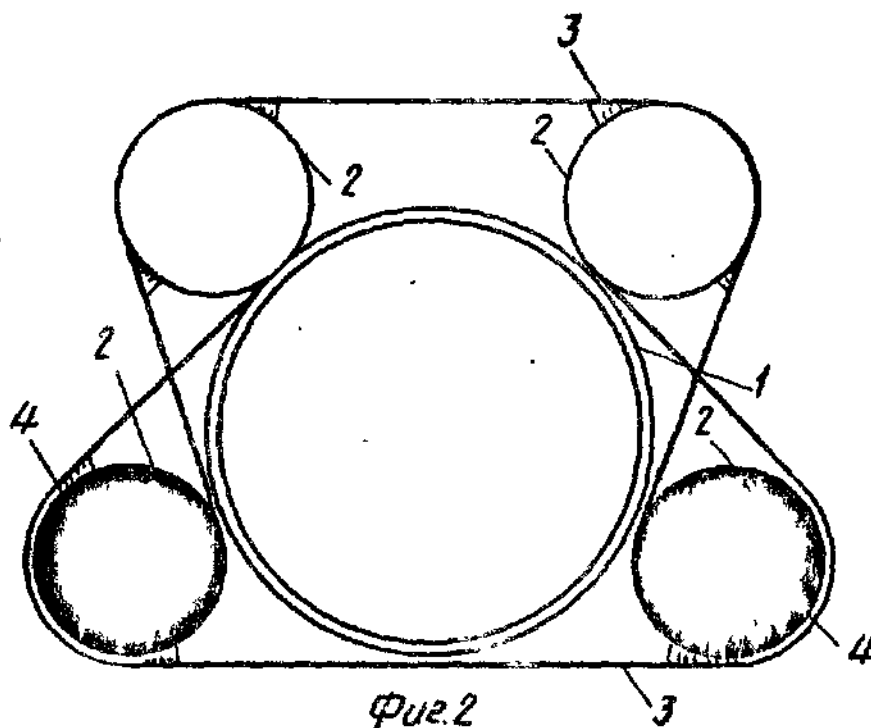
$\rho_b$  — плотность бетона;

$\sum G_{тр}$  — масса одного погонного метра системы трубопроводов,

$K$  — заданный коэффициент устойчивости системы трубопроводов на дне водоема;

$q$  — заданная положительная плавучесть системы трубопроводов.





Редактор	Составитель В.Копаев Техред М.Моргентал	Корректор Л.Филь
----------	--	------------------

Заказ 4266	Тираж	Подписное
ВНИИПИ Государственного комитета по изобретениям и открытиям при ГКНТ СССР 113035, Москва, Ж-35, Раушская наб., 4/5		

Производственно-издательский комбинат "Патент", г. Ужгород, ул. Гагарина, 101

