

УДК 627.372

## СИСТЕМА СТАЦИОНАРНЫХ ВСЕСЕЗОННЫХ БОНОВЫХ ЗАГРАЖДЕНИЙ С ПЕРЕМЕННОЙ ПЛАВУЧЕСТЬЮ – «СТАБОНЗА» И «СТАБОНЗА-ШЕЛЬФ»

Султанмагомедов Султанмагомед Магомедтагирович<sup>1</sup>,  
ftt2010@mail.ru

Кунафин Роберт Наильевич<sup>2</sup>,  
kunafin@outlook.com

Султанмагомедов Тимур Султанмагомедович<sup>1</sup>,  
ftt65@mail.ru

Хасанов Рустям Рафикович<sup>1</sup>,  
hasanov25@mail.ru

Кантемиров Игорь Финсурович<sup>1</sup>,  
ikant@mail.ru

<sup>1</sup> Уфимский государственный нефтяной технический университет,  
Россия, 450062, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1.

<sup>2</sup> Уфимский государственный нефтяной технический университет «Центр сервиса трубопроводных систем»,  
Россия, 450062, г. Уфа, ул. Кольцевая, 8/3.

**Актуальность** исследования обусловлена необходимостью поддержания и соблюдения высоких экологических норм, природоохранных требований в области магистрального трубопроводного транспорта, в частности на объектах водного хозяйства. Применяемые в настоящее время устройства для локализации и сбора продуктов разлива в акваториях рек при авариях на подводных переходах имеют ряд недостатков: начиная со сбоев в работе боновых заграждений, вызванных во многих ситуациях несовершенством самой конструкции (засасывание, протекание, глиссирование продукта), и заканчивая ограниченностью их применения, связанной с сезонными изменениями (не только состояния поверхности водоемов, но и физических свойств, характеристик нефти и нефтепродуктов). Ввиду этого является крайне важным улучшение используемых устройств и разработка новых систем боновых заграждений. Кроме того, для достижения большего эффекта необходимо непрерывно совершенствовать методики расчета параметров установки и работы подобных устройств на воде.

**Цель работы:** представить широкой публике новую конструкцию стационарных всесезонных боновых заграждений с переменной плавучестью – «Стабонза» и «Стабонза-Шельф», предназначенных для оперативной ликвидации последствий разлива нефти и нефтепродуктов на подводных переходах, добывающих платформах и отгружающих морских терминалах. Кроме того, проинвестировать корректировку параметров расчета установки системы боновых заграждений в рабочее положение.

**Методы.** В исследовании применяются методы строительной механики (сопротивления материалов): метод интегрирования дифференциального уравнения изогнутой оси балки для определения прогибов и углов поворота.

**Результаты.** Описаны конструкции и принцип действия разработанных стационарных всесезонных боновых заграждений с переменной плавучестью – «Стабонза» и «Стабонза-Шельф», принципиально отличающихся от ныне существующих высокой надежностью и долговечностью за счёт цельности основных элементов, невысокой стоимостью комплектующих и материалов и, прежде всего, оперативностью развёртывания и приведения системы в исходное плановое состояние. Уточнены параметры расчета установки боновых заграждений в рабочее положение. В существующих методиках предполагается, что в местах крепления боновых заграждений промежуточными оттяжками (в случаях их необходимости) угол поворота силового элемента конструкции заграждения – жесткого полиэтиленового трубопровода – отличен от нуля, что не соответствует действительности. В результате корректировки схемы и уточнения параметров расчета установлено, что максимальный прогиб полиэтиленового трубопровода приходится не на середину пролета  $l$ , а на сечении  $x=1,58l$ , при этом значение самого прогиба на 17 % меньше ранее полученных другими авторами величин.

### Ключевые слова:

Магистральный трубопровод, разгерметизация, боновое заграждение переменной плавучести, прочность, прогиб, оттяжка, шельф.

### Введение

Развитие нефтегазового комплекса России является стратегической задачей государственного масштаба. Освоение труднодоступных северных месторождений углеводородного сырья как на суше, так и на шельфе Арктики – гарантия надежного своевременного обеспечения внутренних и внешних потребителей качественным готовым товаром – продуктом подготовки и переработки нефти

и газа, – всё это неотъемлемые составляющие поставленной задачи, во многом достигаемые благодаря стремительному росту значимости трубопроводного транспорта. По этой причине сложно переоценить вклад системы трубопроводного транспорта в развитие отечественной экономики.

К настоящему моменту в России эксплуатируется порядка 275 тыс. км магистральных трубопроводов, среди которых: нефтепроводы – 55 тыс.

км, газопроводы – 188 тыс. км, нефтепродуктопроводы – 23 тыс. км [1].

Преодолевая большие расстояния, трубопроводы пересекают многочисленные реки и озера, болота и топи. В одной лишь компании ПАО «Транснефть» насчитывается около 1500 подводных переходов общей протяженностью более 3000 км [2].

Несмотря на реализуемые многочисленные мероприятия и целенаправленные программы повышения качества и надежности эксплуатации магистральных трубопроводов в рамках отдельных компаний, в том числе иностранных, отказы на подводных трубопроводах, к сожалению, нередки [3, 4]. По результатам обследований, проводимых специализированными компаниями в системе ПАО «Транснефть», предметом особого внимания остаются 657 подводных переходов, из которых более 200 (общей протяженностью свыше 450 км) имеют возраст от 29 до 40 лет [5].

В период активного становления и развития магистрального трубопроводного транспорта углеводородов такие факторы, как интенсивное переформирование русловых участков и старение металла, к сожалению, учитывались не в достаточной мере, что дает о себе знать сегодня в виде разгерметизации трубопровода и выхода продукта перекачки на поверхность – аварии [6–8]. Безусловно, утечка нефти или нефтепродукта представляет огромную экологическую опасность. Она может нанести существенный материальный урон эксплуатирующей организации в виде одновременных затрат на локализацию продуктов разлива, ликвидации последствий аварий, санкций и штрафов со стороны органов экологического надзора, упущенных выгод за время вынужденного простоя трубопровода, а также моральный ущерб в виде удара, нанесенного по репутации надежного поставщика энергоресурсов. Ввиду этого крайне важны проекты по разработке и внедрению в производство превентивных мер [9–11], а также мер, позволяющих быстро и эффективно реагировать на факт подобной утечки [12]. Данная проблема становится особенно актуальной в зимнее время, в период полного сковывания поверхности рек ледяной коркой, когда наличие льда и снега зачастую делает невозможным оперативное визуальное обнаружение утечки и своевременное вмешательство путем использования известных боновых заграждений для локализации разливов [13–16].

#### Система стационарных всесезонных боновых заграждений с переменной плавучестью

Во многом перечисленные проблемы могут быть решены благодаря системе стационарных всесезонных боновых заграждений с переменной плавучестью – системе «Стабонза» [17]. Регулируемая плавучесть позволяет переводить систему в нерабочее положение (например, на судоходных реках) – когда боны в затопленном состоянии находятся на дне реки, и в рабочее положение – когда боны переводятся на поверхность реки (по фак-

ту возникновения утечки или предварительно (превентивно)).

Предлагаемая система «Стабонза» является более дешевой, простой и надежной реализацией идеи боновых заграждений с переменной плавучестью, чем существующие сегодня.

Все необходимые составные части для создания такой системы доступны и дешевы. Основой конструкции системы «Стабонза» является полиэтиленовый трубопровод, упрочненный и проложенный совместно со стальным канатом с одного берега на противоположный берег реки ниже по течению от подводного перехода.

Один конец полиэтиленового трубопровода открыт, то есть сообщается с водной массой реки, другой конец закрыт и снабжен отводом для присоединения к шлангу воздушно-вакуумного насоса (компрессора).

Во внутренней полости трубопровода находятся несколько шаров или поршень из эластичного материала (полиуретан, резина), плотно прилегающих к внутренней стенке полиэтиленового трубопровода и полностью перекрывающих его поперечное сечение. Для задержания разлившегося на поверхности реки продукта трубопровод по всей длине снабжен тремя рядами линейных гребнеобразных эластичных элементов, устанавливаемых по схеме – два сверху, один снизу (рис. 1).

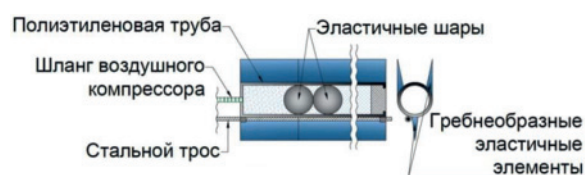


Рис. 1. Конструкция бонового заграждения

Fig. 1. Construction of the boom

Основные характеристики:

- высота надводной части 10...30 см;
- высота подводной части 25...50 см;
- предельное усилие на разрыв 2...15 т.

Большие интервалы значений позволяют эффективно использовать боны в широком диапазоне условий эксплуатации, рассчитывая и закладывая эти параметры в конструкцию заграждения в каждом случае индивидуально.

Заграждение монтируется стационарно и удерживается береговыми якорями. Якоря состоят из коромысел на треугольных опорах (рис. 2), закреплённых на железобетонных основаниях на обоих берегах реки.

Коромысла якорей левого и правого берегов соединены между собой стальным канатом, на котором закрепляется полиэтиленовая труба бона. Конец коромысла, к которому закреплен канат, имеет возможность изменять своё положение по высоте в опоре в широком диапазоне в соответствии сезонным колебаниям уровня воды в реке.

В случаях перекрытия боновым заграждением протяженных водных препятствий и/или при на-

линии быстрых течений полиэтиленовый трубопровод совместно со стальным канатом может испытывать сильное гидродинамическое воздействие воды и, как следствие, значительно прогибаться в горизонтальной плоскости [18–20]. Если расчеты показывают, что удерживаемый за оба конца участок бонового заграждения не выдерживает условия прочности или жесткости, то дополнительно предусматриваются промежуточные оттяжки (рис. 3).

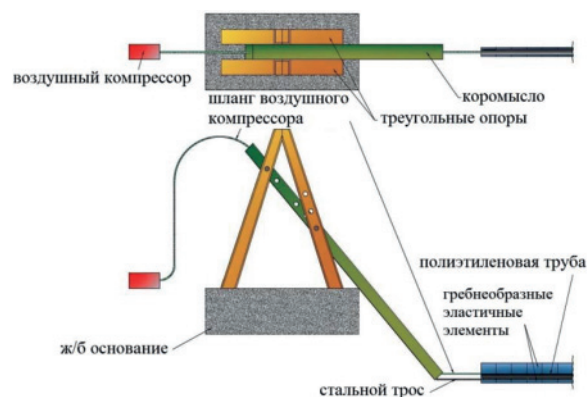


Рис. 2. Береговые якоря системы

Fig. 2. Coastal anchors of the system



Рис. 3. Схема установки бонового заграждения с одной оттяжкой (вариант нагружения бонового заграждения распределенной нагрузкой  $q=q_{\max}$  при  $\alpha=90^\circ$ )

Fig. 3. Scheme of installation of a boom with one brace (option of loading a boom with distributed load  $q=q_{\max}$  at  $\alpha=90^\circ$ )

#### Уточнение параметров расчета установки бонового заграждения в рабочее положение

Боновые заграждения максимально эффективно задерживают продукты утечки в тех случаях, если они установлены перпендикулярно к направлению руслового потока реки, что подтверждается результатами исследований [21]. При данной схеме монтажа силовой элемент заграждения испытывает на себе максимальное растягивающее усилие, которое убывает по мере уменьшения угла установки бона к направлению течения. Следовательно, вариант установки заградительной конструкции на рис. 3 представляет собой один из наиболее опасных случаев её нагружения. Соответствующая расчетная схема – крепление одной промежуточной оттяжкой – приведена на рис. 4.

На рис. 4:  $q$  – гидродинамическое воздействие течения реки;  $\alpha$  – угол фиксации боновых заграж-

дений – угол между боновым заграждением и динамической осью потока реки;  $R_0$  – реакция опоры (оттяжки);  $R_a$ ,  $R_b$  – реакции крайней левой и крайней правой опор (береговых якорных систем);  $l$  – расстояние между опорами.

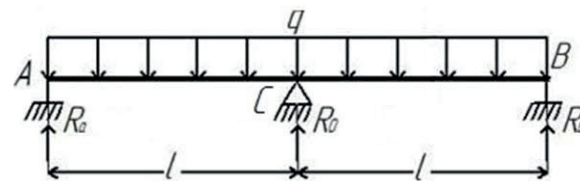


Рис. 4. Расчетная схема

Fig. 4. Calculation scheme

Для оценки допустимого отклонения от створа перехода необходимо знать значение максимального прогиба бонового заграждения в направлении течения реки.

Определим значения реакции опор. Для этого запишем прогиб от распределенной нагрузки  $q$  в отсутствии опоры C, далее снимем нагрузку  $q$  и запишем прогиб от единичной силы, приложенной в месте, где возникает реакция  $R_0$  в опоре C. Получим:

$$y_q = \frac{5}{384} \cdot \frac{q(2l)^4}{EI};$$

$$y_{R_0} = \frac{R_0 l^3}{6EI}.$$

Ввиду того, что прогиб в месте возникновения реакции  $R_0$  отсутствует, справедливо равенство:

$$\frac{5}{384} \cdot \frac{q(2l)^4}{EI} = \frac{R_0 l^3}{6EI},$$

откуда следует, что  $R_0 = 1,25ql$ .

Тогда значения реакций в двух крайних опорах:

$$R_a = R_b = \frac{2ql - R_0}{2} = \frac{2ql - 1,25ql}{2} = 0,375ql.$$

Получаем расчетную схему, представленную на рис. 5.

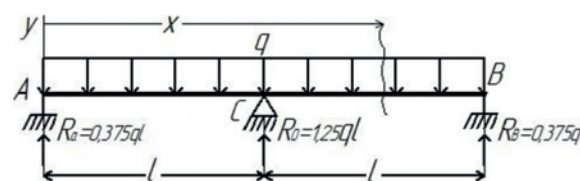


Рис. 5. Схема со значениями реакций опор

Fig. 5. Scheme with the values of the reactions of the supports

В задаче необходимо определить максимальный прогиб полиэтиленового трубопровода. Для этого рассмотрим сечение в правом пролете.

Момент в сечении  $x$  равен:

$$M_x = R_a x + R_0 (x - l) - \frac{qx^2}{2}.$$

Приближенное дифференциальное уравнение упругой линии имеет вид:

$$M_x = EI \frac{d^2 y}{dx^2}.$$

Интегрируя обе части этого уравнения получаем:

$$y_x = y_0 + \theta_0 x + \frac{1}{EI} \left( \frac{R_a x^3}{6} + \frac{R_0 (x-l)^3}{6} - \frac{qx^4}{24} \right), \quad (1)$$

где  $\theta_0$  – угол поворота крайнего правого сечения.

По краям балки и по середине прогиба равны 0, значит  $y_{2l}=0$  при  $x=2l$ .

$$y_{2l} = \theta_0 2l + \frac{1}{EI} \left( \frac{3}{8} ql \frac{(2l)^3}{6} + \frac{5}{4} ql \frac{(2l-l)^3}{6} - \frac{q(2l)^4}{24} \right) = 0.$$

Отсюда, угол поворота крайнего правого и, ввиду симметрии, крайнего левого сечения равен:

$$\theta_0 = -\frac{ql^3}{48EI}. \quad (2)$$

Найдем прогиб в середине левого пролета, при :

$$y_{0,5l} = \theta_0 0,5l + \frac{1}{EI} \left( \frac{3}{8} ql \frac{(0,5l)^3}{6} - \frac{q(0,5l)^4}{24} \right). \quad (3)$$

Подставляя (2) в (3), получаем:

$$y_{0,5l} = -\frac{ql^3}{48EI} 0,5l + \frac{ql^4}{EI} \left( \frac{3}{8} \frac{0,5^3}{6} - \frac{0,5^4}{24} \right);$$

$$y_{0,5l} = -\frac{2ql^4}{384EI}.$$

Поскольку полиэтиленовый трубопровод в месте удержания оттяжкой имеет нулевой угол поворота, то прогиб не будет максимальным в середине пролета, при  $x=0,5l$ . Далее найдем максимальный прогиб трубопровода. Для этого необходимо найти производную от  $y$ .

На основании выражения (1) находим производную  $y'$ :

$$y' = \theta_0 + \frac{1}{EI} \left( \frac{3R_a x^2}{6} + \frac{3R_0 (x-l)^2}{6} - \frac{4qx^3}{24} \right);$$

$$y' = -\frac{ql^3}{48EI} + \frac{1}{EI} \left( \frac{3qlx^2}{16} + \frac{5ql(x-l)^2}{8} - \frac{qx^3}{6} \right). \quad (4)$$

Исходя из условия  $y=\max$ , если  $y'=0$ , выражение (4) примет вид:

$$8x^3 - 39x^2l + 60xl^2 - 29l^3 = 0.$$

Уравнение имеет три решения:  $x=l$ ,  $x=1,578l$ ,  $x=2,297l$ . При  $x=l$  и  $x=2,297l$  прогиб минимален, при  $x=1,578l$  прогиб максимален. Для окончательного решения задачи найдем  $y_{1,578l}$ .

$$y_{1,578l} = \theta_0 1,578l + \frac{1}{EI} \left( \frac{3}{8} ql \frac{(1,578l)^3}{6} + \frac{5}{4} ql \frac{(1,578l-l)^3}{6} - \frac{q(1,578l)^4}{24} \right);$$

$$y_{1,578l} = -\frac{2,08ql^4}{384EI}.$$

Аналогичным образом решаются задачи, если количество промежуточных оттяжек отлично от единицы и/или  $\alpha \neq 90^\circ$ .

#### Работа системы «Стабонза»

Работа системы «Стабонза» основана на регулировке плавучести бонового заграждения путем заполнения его внутренней полости воздухом или водой. В нерабочем состоянии конструкция заграждения находится на дне в затопленном состоянии. Для приведения бонового заграждения в рабочее положение, то есть его всплытия, необходимо вывести воду из полости полиэтиленового трубопровода, для чего в него компрессором или из другого источника, например стационарного ресивера, закачивается воздух, который с помощью эластичных плотно сидящих шаров или поршня вытесняет воду в водоем через негерметичный торец противоположного конца трубопровода. Система поднимается на поверхность и локализует продукт разлива по принципу обычных боновых заграждений (рис. 6).

Наиболее ответственные участки можно оснастить системой автоматизации, позволяющей по сигналу с диспетчерской приводить систему в рабочее положение, таким образом, сократив время реагирования на факт обнаружения утечки.

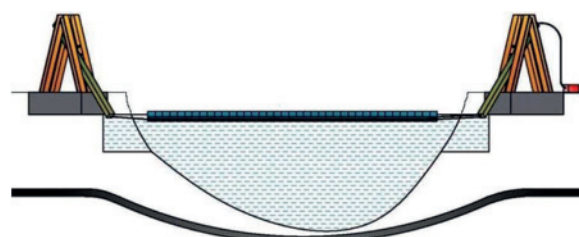


Рис. 6. Система «Стабонза» в рабочем положении

Fig. 6. System «Stabonza» in working position

Перевод системы «Стабонза» в нерабочее положение осуществляется благодаря откачке воздуха из внутренней полости полиэтиленового трубопровода вакуумным насосом. В результате этого вода через фильтрующий элемент в негерметичном противоположном конце трубы начинает заполнять трубопровод, и система постепенно опускается на дно реки. При этом герметизирующие эластичные шары внутри трубопровода перемещаются в сторону насоса.

При необходимости заграждение снабжается пригрузами (балластными элементами).

Осенью, до покрытия поверхности водоема плотным льдом, боновое заграждение предварительно опускается на дно реки. С наступлением устойчивых заморозков и при окончательном ледоставе заграждение вновь поднимается на поверхность и плотно прижимается ко льду или продолжает находиться, как и прежде, на дне водоема

в нерабочем положении. Возможные перепады по толщине льда компенсируются способностью полиэтиленового трубопровода подвергаться значительным изгибам, а отрицательный эффект, создаваемый мелкой бугристой ледяной поверхностью, учитывается работой эластичных элементов верхних гребней заградительной линии. Таким образом, разработанная система практически сводит к нулю возможность растекания нефти подо льдом (рис. 7).

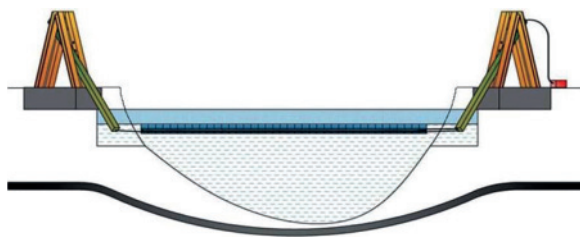


Рис. 7. Система «Стабонза» в рабочем положении в период ледостава

Fig. 7. System «Stabonza» in working position during the freeze-up period

Весной для предотвращения разрушения во время ледохода заграждение необходимо затопить. На случай примерзания гребней ко льду предусмотрен их обогрев с помощью пара или горячей воды, пропускаемых по специальному шлангу, проложенному между верхними гребнями.

Приведение системы в рабочее положение возможно оператором с берега, диспетчером дистанционно или автоматически по сигналу об утечке.

Для локализации и сбора вытекающей нефти на берегу рядом с одним из якорей (расположенного ниже по течению) сооружается залив, размеры которого определяются расчётным путём, в зависимости от параметров трубопровода.

Продукт утечки скапливается в заливе, откуда его откачивают при помощи передвижных насосных агрегатов в автоцистерны (рис. 8).

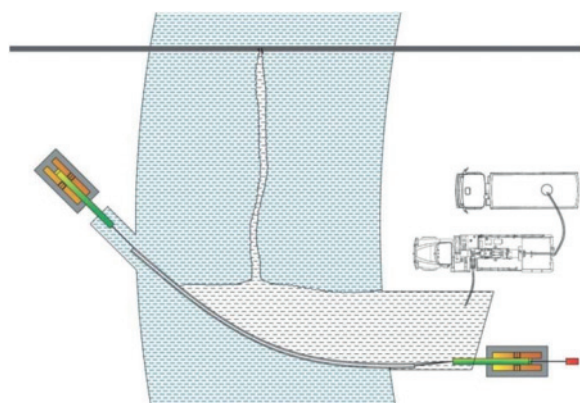


Рис. 8. Сбор продукта и откачка в автоцистерны

Fig. 8. Collecting the product and pumping into tankers

При необходимости, в отсутствии судоходства или в период ледостава, система может находиться в рабочем состоянии постоянно.

Конкретное место установки системы «Стабонза» определяется индивидуально, в зависимости от ширины и глубины реки, рельефа береговой линии.

Не менее важными факторами, определяющими и ограничивающими условия эксплуатации бонового заграждения, также являются [21]:

- скорость течения, при которой конструкция системы сохраняет устойчивость, до 0,6 м/с;
- скорость ветра, до 10 м/с;
- высота волн, до 1,25 м.

Существенное влияние на эффективность работы боновых заграждений оказывает время реагирования. От того, насколько оперативно будут осуществлены все действия, зависят масштабы и последствия аварии при разливе продукта транспортировки.

Время реагирования складывается из:

- времени на обработку информации о выходе продукта на поверхность;
- времени на подготовку аварийной бригады и погрузку оборудования;
- времени следования к месту назначения;
- разворачивания и установки оборудования [21].

К настоящему моменту на балансе ПАО «Транснефть» в основном числятся переносные боновые заграждения, разворачиваемые и устанавливаемые на акватории рек при разливе нефти непосредственно на месте. Время приведения в рабочее положение подобных бонов, при самых скромных подсчетах, составляет порядка полутора часов (85–90 мин) [22]. Тогда как время реагирования системы «Стабонза», если заграждение находится на дне реки в нерабочем положении, складывается из времени на обработку диспетчером информации о разливе продукта перекачки и времени подъема бона на поверхность водоема, которое определяется только производительностью компрессора. Указанные действия могут быть выполнены в течение 10–20 мин.

#### Система «Стабонза-Шельф»

На таком же принципе устроена конструкция системы «Стабонза-Шельф», адаптированная для применения на морских нефтяных платформах [23]. Основой конструкции системы «Стабонза-Шельф» также является полиэтиленовый трубопровод, проложенный вдоль стального каната замкнутым (а при необходимости, в определённых случаях – разомкнутым) кольцом вокруг морской платформы (рис. 9).

Кольцо из полиэтиленового трубопровода разбито перегородками на несколько секторов. Это необходимо для равномерности и увеличения скорости подъема/опускания системы. Каждый сектор трубопровода в одном из своих концов негерметичен, то есть сообщается с водной массой моря, другой конец герметичен и снабжён отводом для присоединения к шлангу воздушно-вакуумного насоса (компрессора).

Заграждение монтируется стационарно и удерживается системой тросов и жесткого металличе-

ского каркаса, смонтированного концентрично на опорах платформы. Каркас изготовлен из уголков или труб и служит для общей центрации заграждения вокруг платформы. Тросы обеспечивают гибкую связь боновых заграждений с каркасом, необходимую для возможности повторения заграждениями контура крупных волн. Более мелкие волнения компенсируются гребнеобразными элементами заграждений.

Основные характеристики заградительной линии:

- высота надводной части, 50...80 см;
- высота подводной части, 100 и более см;
- предельное усилие на разрыв, 15...30 т.

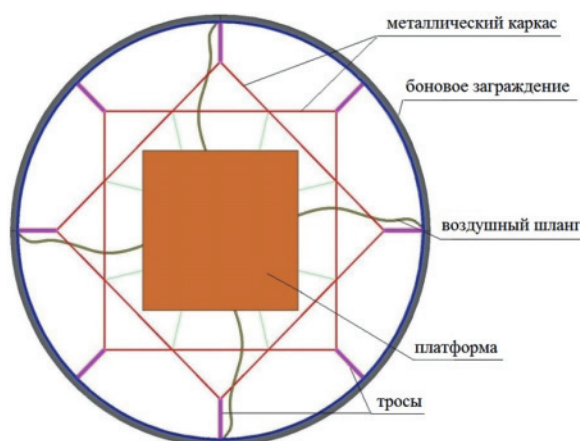


Рис. 9. Система стационарного всесезонного бонового заграждения с переменной плавучестью «Стабонза-Шельф» (в плане)

Fig. 9. System of the all-season stationary boom of variable buoyancy «Stabonza-Shelf» (top view)

В нерабочем положении боновое заграждение находится на определенной глубине в затопленном состоянии, необходимой для свободного прохода к морской платформе танкеров и судов обслуживания. При заполнении полиэтиленового трубопровода воздухом система поднимается на поверхность моря и локализует разливающийся продукт

по принципу обычных боновых заграждений (рис. 10).

Система не теряет работоспособности и при наступлении ледостава. При всплытии боновое заграждение плотно прилегает к поверхности льда. Возможные изменения по толщине льда компенсируются гибкостью и податливостью полиэтиленовой трубы, а мелкие неровности нижней поверхности льда перекрываются эластичными элементами верхних гребней заградительной линии. Таким образом, система снижает вероятность распространения нефти подо льдом практически до нуля.

Приведение системы в рабочее положение возможно оператором с платформы, диспетчером дистанционно или автоматически по сигналу об утечке.

Продукт утечки скапливается внутри замкнутого кольца бонового заграждения, откуда его откачивают при помощи насосных агрегатов в ёмкости на платформе или в танкера.

Диаметр кольца бонового заграждения определяется индивидуально, в зависимости от размеров самой платформы, от скорости морских течений, направления и скорости преобладающих ветров, глубины моря и прочих факторов.

#### Заключение

Сравнение системы боновых заграждений «Стабонза» и «Стабонза-Шельф» с существующими на рынке аналогами позволяет сделать вывод о том, что представленные авторами устройства выгодно отличаются от последних ввиду ряда характерных для них преимуществ [24, 25]:

- оперативность развёртывания или приведения в рабочее положение системы, которая определяется только производительностью компрессора, а при затоплении не требуются плавсредства для стравливания воздуха из каждой отдельной секции через клапана;
- прочность, обеспечиваемая толщиной стенок трубопровода;
- долговечность и надёжность за счёт цельности поплавкового элемента – полиэтиленовой тру-

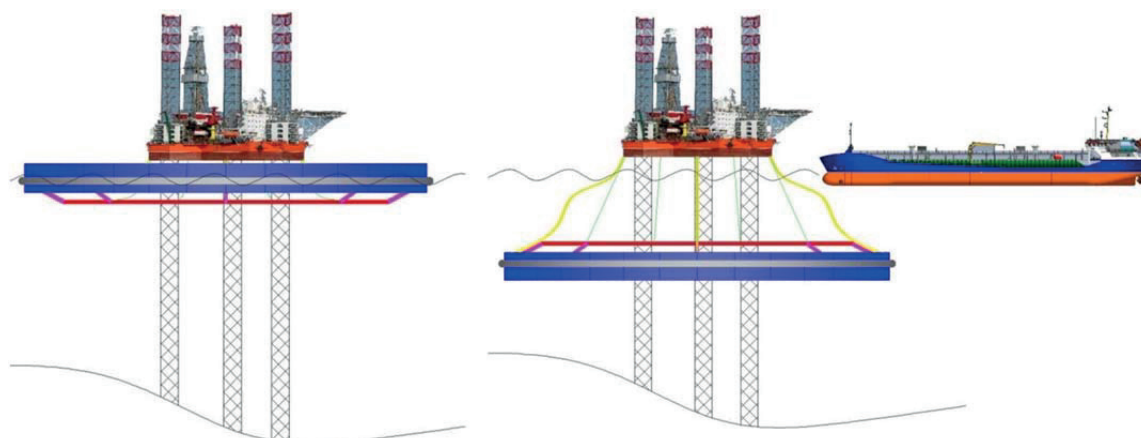


Рис. 10. Система «Стабонза-Шельф» в рабочем положении и в положении ожидания

Fig. 10. «Stabonza-Shelf» system in working position and in waiting position

бы по всей длине бонового заграждения, отсюда отсутствие соединительных элементов, снижающих эффективность заграждения и удорожающих его стоимость;

- возможность всесезонного использования системы, даже при наличии ледяного покрова;
- устойчивость заграждения к динамическим нагрузкам от ветра и течения реки благодаря высокой жёсткости несущей конструкции каркаса (полиэтиленового трубопровода) по сравнению с мягкими надувными бонами-занавесами, склонными к постоянному перекручиванию или складыванию. Кроме того, для формирования защитной заградительной

линии принятое конструктивное решение позволяет системе во многих ситуациях обходиться без использования дополнительных промежуточных цепных оттяжек и донных якорей.

Простота систем «Стабонза» и «Стабонза-Шельф» обеспечивает их высокую надёжность в любое время года и при любых погодных условиях, быстрота приведения их в рабочее положение – снижение эколого-экономического ущерба от разливов нефти и нефтепродуктов, а сравнительно недорогая стоимость материалов и комплектующих данных систем делает возможным их широкое внедрение на производстве.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Проект отчета о деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору в 2016 году. URL: [http://www.gosnadzor.ru/public/annual\\_reports/](http://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports/) (дата обращения 28.12.2017).
2. Калмацкий М. Водолаз форсирует Таз // Издание «Российская Газета». – 2015. – спецвыпуск № 6855(284). – С. 9–12.
3. National Research Council. Spills of Nonfloating Oils, Risk and Response. – Washington, D.C.: National Academy Press, 1999. – 88 p.
4. Michael B., William T. Availability and Capabilities of «Ohmsett»: the National Oil Spill Response Test Facility // Oil Spill Response, Research, Regulations, and Drills: Proc. Eighteenth Annual Gulf of Mexico Information Transfer Meeting. – New Orleans, Louisiana: University of New Orleans, 2000. – P. 19–26.
5. Игнатьев В.Б. Государственное и муниципальное управление и регулирование в транспортной системе. – Иркутск: БГУЭП, 2003. – 418 с.
6. Рекомендации по оценке работоспособности подводных переходов газопроводов при наличии размывов дна / В.В. Харионовский, В.П. Радин, С.С. Фесенко, И.А. Саликов, А.Н. Шилин. – М.: ВНИИСТ, 1995. – 39 с.
7. Султанмагомедов С.М., Хасанов Р.Р. Напряженно-деформированное состояние и обеспечение надежности тройников подземных трубопроводов. – Уфа: УГНТУ, 2013. – 100 с.
8. Безопасность пересечений трубопроводами водных преград / К.А. Забела, В.А. Красков, В.М. Москвич, А.Е. Соценко. – М.: Недра-Бизнесцентр, 2001. – 195 с.
9. Комплексное компенсирующее устройство трубопровода: пат. РФ № 111240; заявл. 04.04.2011; опубл. 10.12.2011, Бюл. № 34. – 9 с.
10. Стабилизатор механических напряжений: пат. РФ № 96212; заявл. 04.03.2010; опубл. 20.07.2010, Бюл. № 20. – 8 с.
11. Robinson S.M., Barbaros C., Steen R. Development of a Rapid Current Containment Boom: Phase III, Year 2. – Durham: Jere Chase Ocean Engineering Center University of New Hampshire, 1999. – 82 p.
12. API. 2013. Remote Sensing in Support of Oil Spill Response. API Technical Report 1144. – NW, Washington: API Publishing Services, 2013. – 80 p.
13. Method and a system for removal of oil under ice: patent US № 20160186399 A1; declared 05.08.2014; publ. 30.06.2016. PCT no.: PCT/FI2014/050607. – 5 p.
14. Устройство для локализации и сбора нефти и нефтепродуктов с поверхности воды: пат. РФ № 2617292; заявл. 26.04.2016; опубл. 24.04.2017, Бюл. № 12. – 15 с.
15. Circumpolar Oil Spill Response Viability Analysis: Technical Report. URL: <https://www.bsee.gov/sites/bsee.gov/files/2017-circumpolar-oil-spill-response-viability-analysis.pdf> (дата обращения 28.12.2017).
16. Мальцева Т.А., Попова О.В. Боновые заграждения как эффективное средство ликвидации нефтяных разливов // Электронный научный журнал «Инженерный вестник Дона». – 2016. – № 4. URL: <http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3805> (дата обращения 28.12.2017).
17. Боновое заграждение переменной плавучести: пат. РФ № 2599560; заявл. 20.07.2015; опубл. 10.10.2016, Бюл. № 28. – 9 с.
18. Hansen K., Coe T.J. Oil Spill Response in Fast Currents – a Field Guide. – Groton, CT: USCG Research & Development Center, 2001. – 121 p.
19. Coe T., Gurr B. Control of Oil Spills in Fast Water Currents, a Technology Assessment (CG-D-18-99). – Groton, CT: USCG Research & Development Center, 1999. – 134 p.
20. David D., Kathleen N., Hansen K. Evaluation of Four Oil Spill Recovery Systems in Fast Water Conditions at Ohmsett (CG-D-18-99). – Groton, CT: USCG Research & Development Center, 2000 – 113 p.
21. Оценка эффективности средств для ликвидации аварийных разливов нефти при пересечении магистральными трубопроводами водных преград / Р.Х. Идрисов, К.Р. Идрисова, Р.С. Резбаева, М.Г. Беспалов // Нефтегазовое дело: электронный научный журнал. – 2014. – № 2. URL: [http://ogbus.ru/authors/IdrisovRH/IdrisovRH\\_1.pdf](http://ogbus.ru/authors/IdrisovRH/IdrisovRH_1.pdf) (дата обращения 28.12.2017).
22. Рамазанов Д.С. Оценка эффективности боновых заграждений для ликвидации аварийных разливов нефти при пересечении магистральным трубопроводом водных преград // Проблемы геологии и освоения недр: труды XX Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 120-летию со дня основания Томского политехнического университета. – Томск: Изд-во ТПУ, 2016. – Т.2. – С. 1072–1074.
23. 2016 Update of Occurrence Rates for Offshore Oil Spills. URL: <https://www.bsee.gov/sites/bsee.gov/files/osrr-oil-spill-response-research/1086aa.pdf> (дата обращения 28.12.2017).
24. Боновое заграждение переменной плавучести: пат. РФ № 2221109; заявл. 06.05.2002; опубл. 10.01.2004, Бюл. № 1. – 12 с.
25. Стационарное боновое заграждение переменной плавучести: пат. РФ № 2232226; заявл. 30.01.2003; опубл. 10.07.2004, Бюл. № 19. – 8 с.

Поступила 09.01.2018 г.

#### **Информация об авторах**

**Султанмагомедов С.М.**, доктор технических наук, профессор кафедры сооружения и ремонта газонефтепроводов и газонефтехранилищ, декан факультета трубопроводного транспорта Уфимского государственного нефтяного технического университета.

**Кунафин Р.Н.**, директор самостоятельного структурного подразделения Уфимского государственного нефтяного технического университета «Центр сервиса трубопроводных систем».

**Султанмагомедов Т.С.**, магистрант кафедры транспорта и хранения нефти и газа Уфимского государственного нефтяного технического университета.

**Хасанов Р.Р.**, кандидат технических наук, доцент кафедры сооружения и ремонта газонефтепроводов и газонефтехранилищ Уфимского государственного нефтяного технического университета.

**Кантемиров И.Ф.**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой сооружения и ремонта газонефтепроводов и газонефтехранилищ Уфимского государственного нефтяного технического университета.

UDC 627.372

## THE STATIONARY ALL-WEATHER BOOMS SYSTEM WITH VARIABLE FLOATABILITY – «STABONZA» AND «STABONZA-SHELF»

Sultanmagomed M. Sultanmagomedov<sup>1</sup>,  
ftt2010@mail.ru

Robert N. Kunafin<sup>2</sup>,  
kunafin@outlook.com

Timur S. Sultanmagomedov<sup>1</sup>,  
ftt65@mail.ru

Rustyam R. Khasanov<sup>1</sup>,  
hasanov25@mail.ru

Igor F. Kantemirov<sup>1</sup>,  
ikant@mail.ru

<sup>1</sup> Ufa State Petroleum Technological University,  
1, Kosmonavtov street, Ufa, 450062, Russia.

<sup>2</sup> Ufa State Petroleum Technological University,  
8/3, Koltsevaya street, Ufa, 450062, Russia.

**The relevance** of the study is conditioned by the need of maintaining and upholding environmental standards and requirements in the field of trunk line transport, particularly at water services facilities. Currently used devices for containment and collection of spill products in water surfaces of rivers in case of accidents on underwater lines have a number of drawbacks: beginning with failures in the operation of booms, often caused by imperfections in the design (leakage, gliding of the product), and ending with the application limit due to seasonal changes (not only the state of surface water bodies, but also physical properties, characteristics of oil and petroleum products). In light of this, it is extremely important to improve the devices used and develop new boom systems. Furthermore, to achieve a greater effect, it is necessary to constantly improve the methods of calculating the parameters of the installation and the operation of such devices in the waters.

**The aim** of research is: to present to broad public a new design of stationary all-weather booms with variable floatability – «Stabonza» and «Stabonza-Shelf», intended for prompt liquidation of the consequences of oil and petroleum products spills in underwater lines, production platforms and offload sea terminals. Additionally, to adjust the calculation parameters for setting the boom system to the set position.

**Methods.** Methods of building mechanics (material resistance): integration technique of the differential equation of the curved beam axis in order to determine deflections and angles of rotation is used in the research.

**Results.** The design and operation principle of the developed stationary all-weather booms with variable floatability – «Stabonza» and «Stabonza-Shelf», which are fundamentally different from those that exist today with high reliability and durability due to the integrity of the main elements, low cost of components and materials, and, first of all, deploying and bringing the system to its original planned state. The parameters of calculating the installation of boom barriers in the set position are modified. In existing techniques, it is assumed that in the places where the booms are fastened with intermediate drafts (in cases of necessity), the rotation angle of the force element of the barrier construction – a rigid polyethylene pipeline – is different from zero, which is not true to the fact. As a result of adjusting the circuit and refining the calculation parameters, it was found that the maximum deflection of the polyethylene pipeline falls not at the middle of the span  $l$ , but at the cross section  $x = 1,58l$ , while the deflection value is 17 % smaller than previously obtained by other authors.

### Key words:

Trunk line, depressurization, boom of variable floatability, full strength, deflection, guy line, shelf.

### REFERENCES

1. *Proekt otcheta o deyatelnosti Federalnoy sluzhbi po ekologicheskoy, tekhnologicheskoy i atomnomu nadzoru v 2016 godu* [Draft report on the activities of the Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision in 2016]. Available at: [http://www.gosnadzor.ru/public/annual\\_reports/](http://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports/) (accessed 28 December 2017).
2. Kalmatskiy M. Vodolaz forsiruets Taz [Diver forcing Taz]. *Rossiyskaya Gazeta*, 2015, no. 6855(284), pp. 9–12.
3. *National Research Council. Spills of Nonfloating Oils, Risk and Response*. Washington, D.C., National Academy Press Publ., 1999. 88 p.
4. Michael B., William T. Availability and Capabilities of «Ohmsett»: the National Oil Spill Response Test Facility. *Oil Spill Response, Research, Regulations, and Drills. Proceedings: Eighteenth Annual Gulf of Mexico Information Transfer Meeting*, 2000, pp. 19–26.
5. Ignatev V.B. *Gosudarstvennoe i munitsipalnoe upravlenie i regulirovanie v transportnoy sisteme* [State and municipal management and regulation in the transport system]. Irkutsk, BSUEL Publ., 2003. 418 p.
6. Kharionovskii V.V., Radin V.P., Fesenko S.S., Salikov I.A., Shilin A.N. *Rekomendatsii po otsenke rabotosposobnosti podvodnykh perehodov gazoprovodov pri nalichii razmyivov dna* [Recommendations for assessing the operability of underwater crossings of gas pipelines in the presence of seabed erosion].

- dations for assessing the performance of underwater crossings of gas pipelines in the presence of erosion of the bottom]. Moscow, VNIIST Publ., 1995. 39 p.
7. Sultanmagomedov S.M., Khasanov R.R. *Napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie i obespechenie nadezhnosti troynikov podzemnykh truboprovodov* [Stress-strain state and reliability of tees of underground pipelines]. Ufa, USPTU Publ., 2013. 100 p.
  8. Zabela K.A., Kraskov V.A., Moskvich V.M., Soschenko A.E. *Bezopasnost peresecheniy truboprovodami vodnykh pregrad* [Safety of pipeline crossings of water barriers]. Moscow, Nedra-Biznestsentr Publ., 2001. 195 p.
  9. Sultanmagomedov S.M., Khasanov R.R., Shammazov A.M., Mustafa F.M., Yanyishev R.S. *Kompleksnoe kompensiruyushchee ustroystvo truboprovoda* [Comprehensive piping compensating device]. Patent RF, no. 111240, 2011.
  10. Sultanmagomedov S.M., Khasanov R.R., Shammazov A.M., Mustafa F.M. *Stabilizator mekhanicheskikh napryazheniy* [Stabilizer of mechanical stresses]. Patent RF, no. 96212, 2010.
  11. Robinson S.M., Barbaros C., Steen R. *Development of a Rapid Current Containment Boom: Phase III, Year 2*. Durham, Jere Chase Ocean Engineering Center University of New Hampshire, 1999. 82 p.
  12. API. 2013. *Remote Sensing in Support of Oil Spill Response. API Technical Report 1144*. NW, Washington, API Publishing Services Publ., 2013. 80 p.
  13. Muhonen J. *Method and a system for removal of oil under ice*. Patent US, no. 20160186399 A1, 2016.
  14. Mazhayskiy Yu.A., Prokofev M.I., Golubenko M.I. *Ustroystvo dlya lokalizatsii i sbora nefti i nefteproduktov s poverkhnosti vody* [Device for localization and collection of oil and oil products from watersurface]. Patent RF, no. 2617292, 2017.
  15. *Circumpolar Oil Spill Response Viability Analysis: Technical Report*. Available at: <https://www.bsee.gov/sites/bsee.gov/files/2017-circumpolar-oil-spill-response-viability-analysis.pdf> (accessed 28 December 2017).
  16. Maltseva T.A., Popova O.V. Boom barriers as an effective means for liquidating oil spills. *Electronic scientific journal «Inzhenernyy vestnik Dona»*, 2016, no. 4. In Rus. Available at: <http://iv-don.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3805> (accessed 28 December 2017).
  17. Kunafin R.N., Kunafin T.R. *Bonovoe zagrajdenie peremennoy plavuchesti* [Boom barrier of variable buoyancy]. Patent RF, no. 2599560, 2016.
  18. Hansen K., Coe T.J. *Oil Spill Response in Fast Currents – a Field Guide*. Groton, CT, USCG Research & Development Center Publ., 2001. 121 p.
  19. Coe T., Gurr B. *Control of Oil Spills in Fast Water Currents, A Technology Assessment (CG-D-18-99)*. Groton, CT, USCG Research & Development Center Publ., 1999. 134 p.
  20. David D., Kathleen N., Hansen K. *Evaluation of Four Oil Spill Recovery Systems in Fast Water Conditions at Ohmsett (CG-D-18-99)*. Groton, CT, USCG Research & Development Center Publ., 2000. 113 p.
  21. Idrisov R.H., Idrisova K.R., Rezbaeva R.S., Bespalov M.G. Assessment of the effectiveness of oil spill response equipment when crossing main water pipelines with water barriers. *Neftegazovoe delo: elektronnyy nauchnyy zhurnal*, 2014, no. 2. In Rus. Available at: [http://ogbus.ru/authors/IdrisovRH/IdrisovRH\\_1.pdf](http://ogbus.ru/authors/IdrisovRH/IdrisovRH_1.pdf) (accessed 28 December 2017).
  22. Ramazanov D.S. Otsenka effektivnosti bonovykh zagrazhdeniy dlya likvidatsii avariynykh razlivov nefti pri peresechenii magistralnym truboprovodom vodnykh pregrad [Assessment of the efficiency of booms for liquidation of oil spills when the main pipeline crosses water barriers]. *Problemy geologii i osvoeniya nedr: trudy XX Mezhdunarodnogo simpoziuma imeni akademika M.A. Usova studentov i molodykh uchenykh, posvyaschennogo 120-letiyu so dnya osnovaniya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta* [Problems of geology and subsurface exploration: the works of the XX International Symposium named after Academician M.A. Usov of students and young scientists dedicated to the 120<sup>th</sup> anniversary of the foundation of Tomsk Polytechnic University]. Tomsk, TPU Publ., 2016. Vol. II, pp. 1072–1074.
  23. *2016 Update of Occurrence Rates for Offshore Oil Spills*. Available at: <https://www.bsee.gov/sites/bsee.gov/files/osrr-oil-spill-response-research/1086aa.pdf> (accessed 28 December 2017).
  24. Levagin V.M. *Bonovoe zagrazhdenie peremennoy plavuchesti* [Boom barrier of variable buoyancy]. Patent RF, no. 2221109, 2004.
  25. Levagin V.M., Levagin D.V. *Statsionarnoe bonovoe zagrazhdenie peremennoy plavuchesti* [A stationary boom of variable buoyancy]. Patent RF, no. 2232226, 2004.

Received: 9 January 2018.

#### Information about the authors

**Sultanmagomed M. Sultanmagomedov**, Dr. Sc., professor, Dean of the Faculty, Ufa State Petroleum Technological University.

**Robert N. Kunafin**, chief of the stand-alone business unit «Service Center for Pipeline Systems», Ufa State Petroleum Technological University.

**Timur S. Sultanmagomedov**, master's degree student, Ufa State Petroleum Technological University.

**Rustyam R. Khasanov**, Cand. Sc., associate professor, Ufa State Petroleum Technological University.

**Igor F. Kantemirov**, Dr. Sc., professor, head of the Department, Ufa State Petroleum Technological University.