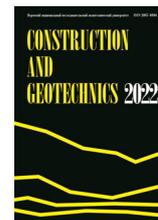




CONSTRUCTION AND GEOTECHNICS

Т. 13, № 2, 2022

<http://vestnik.pstu.ru/arhit/about/inf/>



DOI: 10.15593/2224-9826/2022.2.08

УДК 621.644.074

БАЛЛАСТИРОВКА УЧАСТКОВ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ, ПРОХОДЯЩИХ ЧЕРЕЗ ВОДНЫЕ ПРЕГРАДЫ

А.О. Чучин, С.В. Калошина, Д.Г. Золотозубов

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия

О СТАТЬЕ

Получена: 19 мая 2021
Одобрена: 27 июня 2022
Принята к публикации:
30 июня 2022

Ключевые слова:

трубопровод, устойчивость, подводный переход, всплытие трубопроводов, балластировка, утяжелители.

АННОТАЦИЯ

При прокладке магистральных трубопроводов через водные преграды возникает проблема их всплытия. В процессе исследования данного вопроса рассмотрены основные способы балластировки трубопроводов, проходящих через водные преграды, с помощью различных утяжелителей – как одиночных пригрузов, так и с помощью сплошного обетонирования. Представлены характеристики основных типов утяжелителей.

Согласно требованиям нормативной документации аналитическим способом выведены формулы зависимости требуемого объема материалов от длины участка, а также формулы зависимости стоимости рассматриваемых материалов от длины участка магистрального трубопровода. Для наглядности полученные зависимости представлены в графическом виде. Анализ проведен для трубопроводов сечением 325×8 , 720×10 и 1440×12 , проходящих через водные преграды. Расчеты выполнены для железобетонных утяжелителей кольцевого типа УТК, чугунных утяжелителей кольцевого типа УЧК, а также сплошного обетонирования бетоном класса прочности В15. В результате был получен наиболее экономичный способ балластировки трубопровода в рассматриваемых инженерно-геологических условиях.

© ПНИПУ

© Чучин Андрей Олегович – магистр, e-mail: Andrey.Chuchin@yandex.ru

Калошина Светлана Валентиновна – кандидат технических наук, доцент, e-mail: kaloshina82@mail.ru, ORCID: 0000-0001-9019-2293

Золотозубов Дмитрий Геннадьевич – кандидат технических наук, доцент, e-mail: dddzet@mail.ru, ORCID: 0000-0003-4721-931X

Andrey O. Chuchin – Master, e-mail: Andrey.Chuchin@yandex.ru

Svetlana V. Kaloshina – Ph. D. in Technical Science, Associate Professor, e-mail: kaloshina82@mail.ru, ORCID: 0000-0001-9019-2293

Dmitrii G. Zolotozubov – Ph. D. in Technical Science, Associate Professor, e-mail: dddzet@mail.ru, ORCID: 0000-0003-4721-931X

BALLASTING OF SECTIONS OF TRUNK PIPELINES PASSING THROUGH WATER BARRIERS

A.O. Chuchin, S.V. Kaloshina, D.G. Zolotozubov

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

ARTICLE INFO

Received: 19 May 2022
Approved: 27 June 2022
Accepted for publication:
30 June 2022

Keywords:

pipeline, stability, underwater crossing, floating pipelines, ballasting, weights.

ABSTRACT

This publication raises the currently relevant problem of the surfacing of trunk pipelines. The main methods of ballasting pipelines passing through water barriers are considered. According to the requirements of the regulatory documentation, formulas for the dependence of the required volume of materials on the length of the section, as well as formulas for the dependence of the cost of the materials in question on the length of the section of the main pipeline, are derived analytically. These dependencies are presented graphically. The analysis was carried out for pipelines with a cross section of 325×8 , 720×10 and 1440×12 . This pipeline passes through water barriers. Calculations were performed for reinforced concrete weights of the ring type UTK, cast-iron weights of the ring type UCHK, as well as solid concreting with concrete of strength class B15. As a result, the most economical method of pipeline ballasting was obtained under the considered engineering and geological conditions.

© PNRPU

Введение

Прокладка магистральных трубопроводов через водные преграды сопряжена с определенными трудностями. В зависимости от инженерно-геологических и гидрогеологических условий трубопровод может быть подвержен всплытию, особенно при переходе через водные преграды. Это происходит, если силы, действующие на трубопровод вверх, превышают силы, действующие вниз. К силам, действующим вверх, относят выталкивающую силу и упругий отпор грунта при прокладке свободным изгибом. К силам, действующим вниз, относят собственный вес трубы, транспортируемого продукта, а также вес пригрузов и грунта над трубопроводом. В процессе проектирования необходимо выполнить расчет на всплытие и при необходимости принять соответствующие меры по предотвращению данного процесса.

Вопросами обеспечения устойчивости и безопасности трубопроводов при преодолении водных преград занимались многие российские ученые, например Ф.М. Мустафин и др. [1–5], Гулин и др. [6], С.М. Соколов и др. [7], Долгов и др. [8], Земенков и др. [9], Попова [10; 11], Ю.С. Сысоев [12], Комаров, Короленок [13], А.П. Свечкопалов [14].

В настоящее время заводы-изготовители выпускают различные пригрузки, которые могут применяться в разных инженерно-геологических условиях. Выпускаемая продукция может незначительно различаться по конструкции, но это отличие будет влиять на воспринимаемые нагрузки, а значит, и область применения пригруза. Например, может отличаться система крепления частей утяжелителя друг к другу.

Утяжелители в зависимости от своей конструкции могут использоваться для балластировки трубопроводов, проходящих через болота, обводненные участки и поймы рек, или на переходах через реки и водные преграды.

В данной статье проанализированы различные варианты пригрузов, обеспечивающих балластировку трубопроводов на участках перехода через водные преграды на примере проекта капитального ремонта промыслового газопровода «Каменный Лог – Пермь».

Основная часть

Согласно данным, приведенным на сайте компании ООО «НПО Энергия» [15], которая занимается производством и комплектацией нефтегазовых объектов таких компаний, как «Транснефть», «Газпром», «Лукойл», «Роснефть», «Спецстрой» и др., материально-техническими ресурсами. Для балластировки трубопроводов могут использоваться несколько типов утяжелителей. Они отличаются по конструкции и области применения.

Устойчивость против всплытия трубопроводов, проходящих через водные преграды, может обеспечиваться применением балластировки с помощью железобетонных или чугунных одиночных пригрузов, а также с помощью сплошного обетонирования. Для исключения вероятности всплытия участков промыслового газопровода «Каменный Лог – Пермь», проходящих через реки, можно использовать варианты, представленные в табл. 1.

Таблица 1

Утяжелители для балластировки трубопровода 720 × 10 мм, проходящего через реки и водные преграды

Table 1

Weights for ballasting of 720 × 10 mm pipeline, passing through rivers and water barriers

Наименование утяжелителя	Масса, кг	Объем, м ³	Расчетный удельный вес материала, Н/м ³	Стоимость, руб.	Изображение
Утяжелитель железобетонный кольцевого типа УТК 720 (комплект из 2 шт.)	2760	1,2	23 000	32 600	
Утяжелитель чугунный кольцевой УЧК 720 (комплект из 2 шт.)	1100	0,16	70 000	88 900	
Сплошное обетонирование бетоном класса В15	По расчету		24 000	4400	

Примечание: стоимость бетона класса В15 дана за 1 м³; цены на комплекты пригрузов приняты по данным, представленным в открытом доступе на сайтах заводов-изготовителей на февраль 2022 г.

Устойчивость положения (против всплытия) трубопроводов, прокладываемых на обводненных участках трассы, проверяют по условию:

$$Q_{\text{акт}} \leq \frac{Q_{\text{пас}}}{K_{\text{н.в}}}, \quad (1)$$

где $Q_{\text{акт}}$ – суммарная расчетная нагрузка на трубопровод, действующая вверх, включая упругий отпор при прокладке свободным изгибом, Н/м; $Q_{\text{пас}}$ – суммарная расчетная нагрузка,

действующая вниз (включая собственный вес), Н/м; $K_{н.в}$ – коэффициент надежности устойчивости положения трубопровода против всплытия. Данный коэффициент в зависимости от условий прокладки трубопровода может быть: 1,05 – через болота, поймы, водоемы при отсутствии течения, обводненные и заливаемые участки в пределах горизонта высоких вод (ГВВ) 1 % обеспеченности; 1,1 – русловых через реки шириной до 200 м по среднему меженному уровню, включая прибрежные участки в границах производства подводно-технических работ; 1,15 – через реки и водохранилища шириной свыше 200 м, а также горные реки.

В рассматриваемом случае $K_{н.в} = 1,1$.

Расчетная нагрузка, обеспечивающая упругий изгиб трубопровода в пределах русловой части, не учитывается, так как угол поворота оси трубопровода равен нулю.

Рассмотрен неблагоприятный вариант, при котором вес продукта не учитывается.

Значит, нам необходимо сравнить выталкивающую силу, действующую на трубопровод, с весом самой трубы (с учетом коэффициента надежности) и при необходимости добавить пригрузки. В этом случае необходимо подобрать оптимальный вариант, обеспечивающий устойчивость положения трубопровода с минимальными экономическими затратами.

На основе формул, представленных в ГОСТ Р 55990-2014 «Промысловые трубопроводы» и СП 107-34-96 «Балластировка, обеспечение устойчивости положения газопроводов на проектных отметках», аналитическим методом были выведены зависимости минимального объема материалов от длины участка трубопровода как для одиночных пригрузов, так и для сплошного обетонирования.

Для определения интенсивности балластировки при обеспечении устойчивости положения в частном случае укладки трубопровода свободным изгибом и его равномерной по длине пригрузки следует использовать следующую зависимость:

$$q_6^H = \frac{1}{n_6} \cdot (k_{н.в} \cdot q_в + q_{из} - q_{тр} - q_{доп}) \cdot \frac{\gamma_6}{\gamma_6 - \gamma_в \cdot k_{н.в}}, \quad (2)$$

где n_6 – коэффициент надежности по нагрузке; $q_в$ – расчетная погонная выталкивающая сила воды, Н/м; $q_{из}$ – расчетная интенсивность нагрузки от упругого отпора при свободном изгибе, Н/м; $q_{тр}$ – расчетный погонный собственный вес трубопровода, Н/м; $q_{доп}$ – расчетный погонный вес продукта, Н/м; γ_6 – удельный вес материала пригрузки, Н/м³; $\gamma_в$ – удельный вес воды, принимаемый с учетом растворенных в ней солей, Н/м³.

Рассмотрим подробно каждую величину:

1) Коэффициент надежности по нагрузке n_6 принимается равным:

0,9 – для железобетонных утяжелителей и сплошного обетонирования;

1,0 – для чугунных утяжелителей.

2) Расчетная погонная выталкивающая сила воды $q_в$, действующая на трубопровод, определяется по формуле

$$q_в = \frac{\pi}{4} \cdot \gamma_в \cdot D_{н.и}^2, \quad (3)$$

где $\gamma_в$ – удельный вес воды с учетом растворенных в ней солей принимается по данным инженерных изысканий. Для рассматриваемого участка принимаем $\gamma_в = 10\,500$ Н/м³; $D_{н.и}$ – наружный диаметр трубопровода с учетом изоляционного покрытия и футеровки, м.

3) При прокладке трубопровода через водные преграды отсутствует расчетная интенсивность нагрузки от упругого отпора при свободном изгибе $q_{из}$, т.е. $q_{из} = 0$.

4) Расчетный погонный собственный вес трубопровода $q_{тр}$ определяется по формуле

$$q_{тр} = \frac{\pi}{4} \cdot g \cdot \rho_{ст} \cdot (D_H^2 - D_{ВН}^2), \quad (4)$$

где $\rho_{ст}$ – плотность стали, принимаем $\rho_{ст} = 7850 \text{ кг/м}^3$; g – ускорение свободного падения, м/с^2 ; D_H – наружный диаметр сечения трубопровода, м; $D_{ВН} = D_H - 2d$ – внутренний диаметр сечения трубы, м; d – номинальная толщина стенки трубы, м;

5) Расчетный погонный вес продукта $q_{доп}$ принимается равным нулю как самый неблагоприятный вариант.

6) Удельный вес материала пригрузки γ_6 принимается в зависимости от используемого утяжелителя.

Подставим данные величины в формулу для определения интенсивности балластировки:

$$q_6^H = \frac{1}{n_6} \cdot (k_{н.в} \cdot q_B + q_{из} - q_{тр} - q_{доп}) \cdot \frac{\gamma_6}{\gamma_6 - \gamma_B \cdot k_{н.в}} =$$

$$= \frac{1}{n_6} \cdot \left(k_{н.в} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \gamma_B \cdot D_{н.и}^2 + 0 - \frac{\pi}{4} \cdot g \cdot \rho_{ст} \cdot (D_H^2 - D_{ВН}^2) - 0 \right) \cdot \frac{\gamma_6}{\gamma_6 - \gamma_B \cdot k_{н.в}}. \quad (5)$$

При балластировке трубопровода отдельными утяжелителями шаг утяжелителей L_r при их равномерной расстановке (расстояние между осями утяжелителей) следует определять по формуле

$$L_r = \frac{Q^H}{q_6^H}, \quad (6)$$

где Q^H – нормативный вес одного утяжелителя, определяемый по формуле

$$Q^H = \gamma_6 \cdot V_r, \quad (7)$$

где γ_6 – удельный вес материала пригрузки, Н/м^3 ; V_r – объем одного утяжелителя, м^3 .

Выведем формулу для определения шага одиночных утяжелителей L_r :

$$L_r = \frac{Q^H}{q_6^H}; \quad (8)$$

$$L_r = \frac{\gamma_6 \cdot V_r}{\frac{1}{n_6} \cdot \left(k_{н.в} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \gamma_B \cdot D_{н.и}^2 + 0 - \frac{\pi}{4} \cdot g \cdot \rho_{ст} \cdot (D_H^2 - D_{ВН}^2) - 0 \right) \cdot \frac{\gamma_6}{\gamma_6 - \gamma_B \cdot k_{н.в}}}; \quad (9)$$

$$L_r = \frac{n_6 \cdot (\gamma_6 - \gamma_B \cdot k_{н.в})}{\left(k_{н.в} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \gamma_B \cdot D_{н.и}^2 - \frac{\pi}{4} \cdot \gamma_{ст} \cdot (D_H^2 - D_{ВН}^2) \right)} \cdot V_r. \quad (10)$$

С учетом того что шаг пригрузов $L_r = \frac{L}{n}$ и объем материала пригрузки $V = V_r \cdot n$, где L – общая протяженность рассматриваемого участка трубопровода, n – принятое количество одиночных пригрузов, получим формулу

$$\frac{L}{n} = \frac{n_b \cdot (\gamma_b - \gamma_v \cdot k_{н.в})}{\left(k_{н.в} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \gamma_v \cdot D_{н.и}^2 - \frac{\pi}{4} \cdot \gamma_{ст} \cdot (D_n^2 - D_{вн}^2) \right)} \cdot \frac{V}{n}. \quad (11)$$

Осюда получим зависимость требуемого объема материала пригрузки V от длины участка L :

$$V = \frac{k_{н.в} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D_{н.и}^2 \cdot \gamma_v - \frac{\pi}{4} \cdot (D_n^2 - D_{вн}^2) \cdot \gamma_{ст}}{n_b \cdot (\gamma_b - \gamma_v \cdot k_{н.в})} \cdot L. \quad (12)$$

Для случая применения сплошного обетонирования трубопровода при отсутствии нагрузки от упругого отпора при свободном изгибе формула для определения диаметра наружной обетонированной трубы D_c будет иметь вид:

$$D_c = \sqrt{\frac{D_{н.и}^2 - (D_n^2 - D_{вн}^2) \cdot \frac{\gamma_{ст}}{\gamma_{бет}} - (D_{н.и}^2 - D_n^2) \cdot \frac{\gamma_{и}}{\gamma_{бет}}}{1 - k_{н.в} \cdot \frac{\gamma_v}{\gamma_{бет}}}}, \quad (13)$$

где $\gamma_{бет} = 24\,000 \text{ Н/м}^3$ – удельный вес бетона; $\gamma_{и} = 12\,500 \text{ Н/м}^3$ – удельный вес материала изоляционного слоя; $t_{и} = 0,003 \text{ м}$ – толщина изоляционного слоя.

Толщину следует округлить в большую сторону с точностью 0,005 м.

Тогда требуемый объем бетона V найдем по формуле

$$V = \frac{\pi}{4} \cdot (D_c^2 - D_{н.и}^2) \cdot L \quad (14)$$

Получим зависимость требуемого объема бетона V от длины участка L :

$$V = \frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{D_{н.и}^2 - (D_n^2 - D_{вн}^2) \cdot \frac{\gamma_{ст}}{\gamma_{бет}} - (D_{н.и}^2 - D_n^2) \cdot \frac{\gamma_{и}}{\gamma_{бет}}}{1 - k_{н.в} \cdot \frac{\gamma_v}{\gamma_{бет}}} - D_{н.и}^2 \right) \cdot L. \quad (15)$$

Были произведены расчеты по полученным формулам для трубопроводов сечениями 325×8 , 720×10 и $1440 \times 12 \text{ мм}$.

Графики зависимости требуемого объема материалов от длины участка представлены на рис. 1, 3, 5. Графики зависимости стоимости рассматриваемых материалов от длины участка представлены на рис. 2, 4, 6.

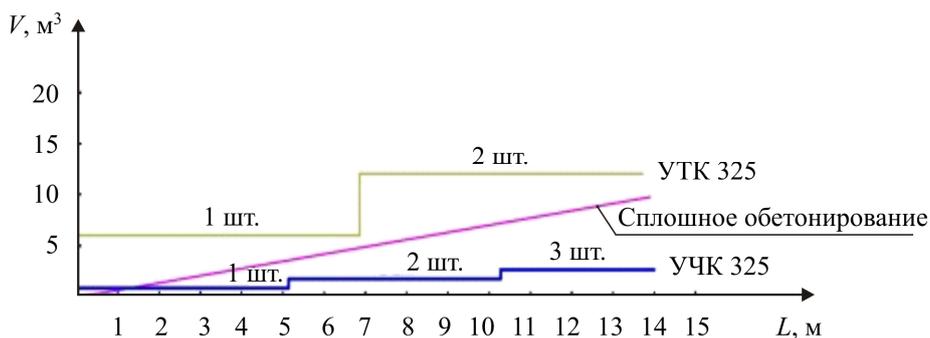


Рис. 1. Требуемый объем материалов на балластировку трубопровода сечением 325×8 , проходящего через водные преграды

Fig. 1. Required volume of materials for ballasting of the pipeline section 325×8 passing through water obstacles

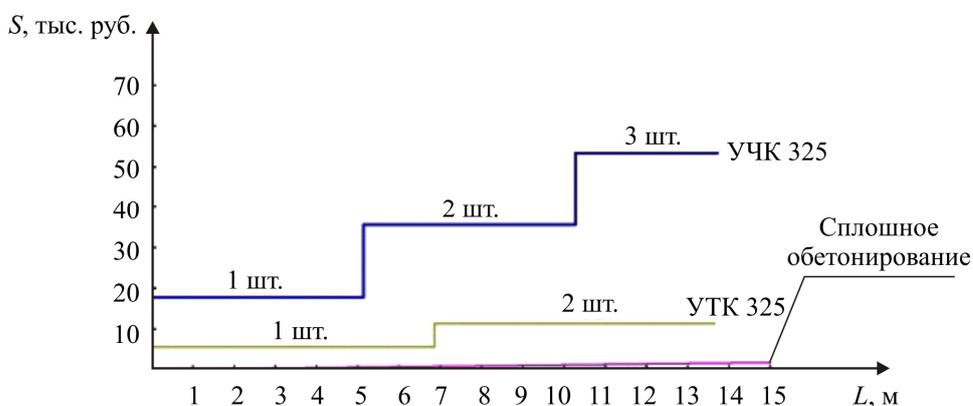


Рис. 2. Стоимость материалов, используемых для балластировки трубопровода сечением 325×8 , проходящего через водные преграды

Fig. 2. Cost of materials used for ballasting a 325×8 cross-section pipeline running through water obstacles

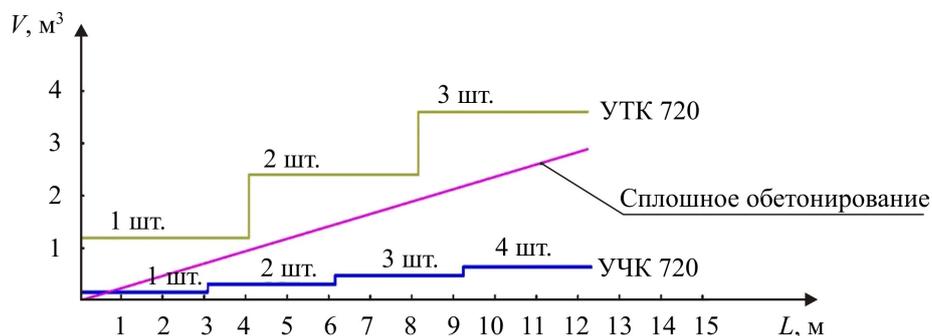


Рис. 3. Требуемый объем материалов на балластировку трубопровода сечением 720×10 , проходящего через водные преграды

Fig. 3. Required volume of materials for ballasting the pipeline section 720×10 passing through water obstacles

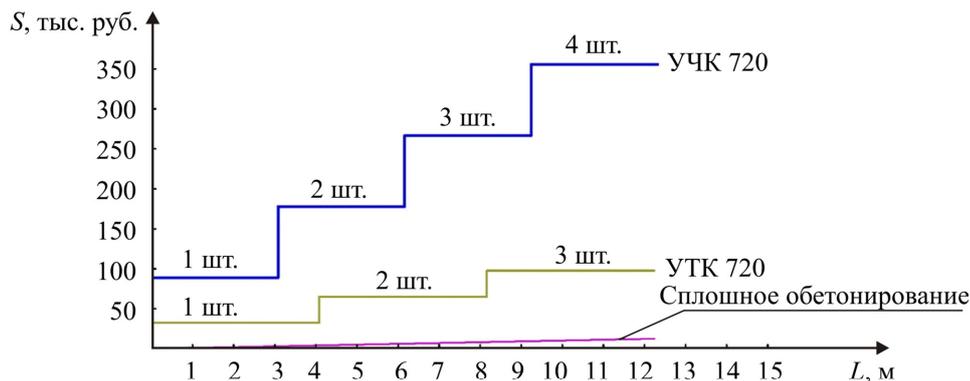


Рис. 4. Стоимость материалов, используемых для балластировки трубопровода сечением 720×10 , проходящего через водные преграды

Fig. 4. Cost of materials used for ballasting of 720×10 section pipeline running through water obstacles

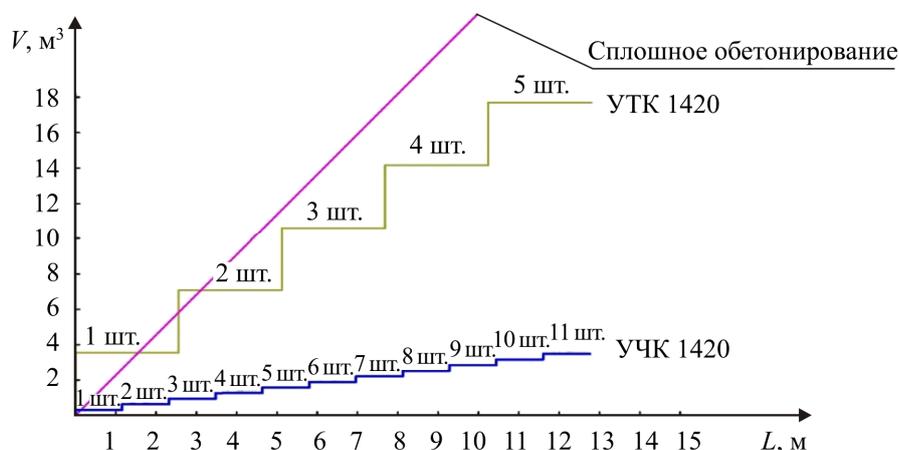


Рис. 5. Требуемый объем материалов на балластировку трубопровода сечением 1440×12 , проходящего через водные преграды

Fig. 5. Required volume of materials for ballasting of the pipeline section 1440×12 passing through water obstacles

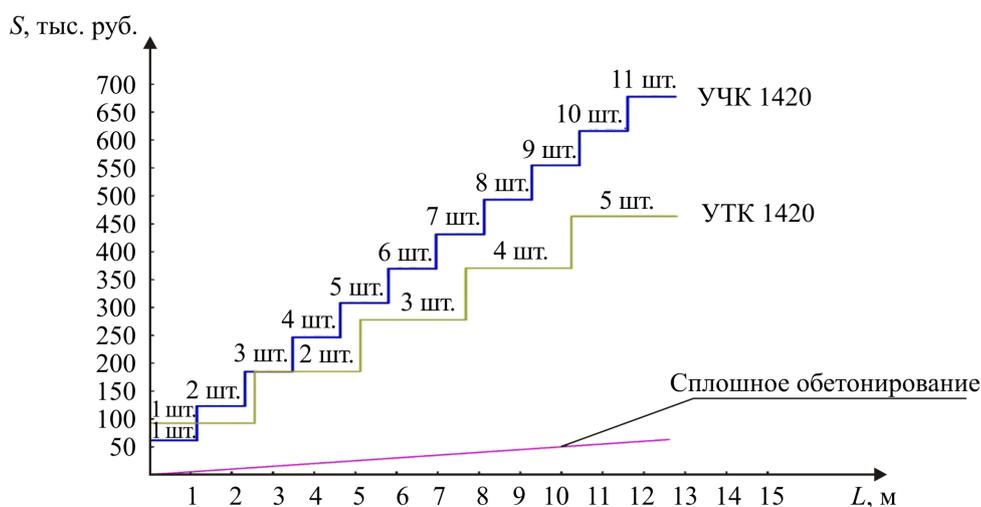


Рис. 6. Стоимость материалов, используемых для балластировки трубопровода сечением 1440×12 , проходящего через водные преграды

Fig. 6. Cost of materials used for ballasting of a 1440×12 cross-section pipeline running through water obstacles

Расчеты для трубопроводов различного сечения позволяют выполнить сравнительный анализ эффективности использования конкретных утяжелителей, а также проследить изменение стоимости материалов с изменением сечения трубы. Результаты для участка длиной 10 м приведены в табл. 2–4.

Таблица 2

Балластировка участка длиной 10 м утяжелителями железобетонными кольцевого типа УТК

Table 2

Ballasting a 10 m long section with reinforced concrete ring-type weights UTK

Показатель	Труба 325 × 8	Труба 720 × 10	Труба 1440 × 12
Количество комплектов утяжелителей, шт.	2	3	4
Стоимость материалов, руб.	11 340	97 800	370 400

Таблица 3

Балластировка участка длиной 10 м утяжелителями чугунными кольцевыми УЧК

Table 3

Ballasting a 10 m long section with cast-iron ring weights UCHK

Показатель	Труба 325 × 8	Труба 720 × 10	Труба 1440 × 12
Количество комплектов утяжелителей, шт.	2	4	9
Стоимость материалов, руб.	35 600	355 600	554 400

Таблица 4

Балластировка участка длиной 10 м с применением сплошного обетонирования бетоном В15

Table 4

Ballasting of a 10 m long section using continuous weight-coating with concrete B15

Показатель	Труба 325 × 8	Труба 720 × 10	Труба 1440 × 12
Объем материалов V , м ³	0,28	2,36	11,37
Стоимость материалов, руб.	1 232	10 384	50 028

Таким образом, можно сделать вывод, что если рассматривать только стоимость материалов, то наиболее экономичным вариантом для балластировки трубопровода, проходящего через водные преграды, является применение сплошного обетонирования. Кроме того, полученное бетонное покрытие может выступать в качестве защитного компенсирующего мероприятия на участках пересечения и сверхнормативного сближения с коммуникациями, опасными производственными объектами и жилыми постройками, а также для защиты антикоррозионного покрытия трубопровода от механических и иных воздействий. Однако необходимо учитывать, что бетонное покрытие является препятствием для проведения обследований. Обследования трубопровода с целью определения потери металла, трещиноподобных дефектов и т.д. возможны изнутри трубопровода. Кроме того, на общую стоимость будет влиять технология устройства различных утяжелителей, которая, в свою очередь, будет отличаться для разных типов пригрузов.

Выводы

1. Балластировка трубопроводов – это одно из важнейших условий надежной и безопасной работы трубопроводного транспорта. В связи с этим необходимо оптимально подбирать способ балластировки.

2. Наиболее распространенными способами балластировки трубопроводов, пересекающих водные преграды, являются: балластировка одиночными железобетонными утяжелителями типа УТК, чугунными утяжелителями УЧК а также использование сплошного обетонирования трубопроводов. Аналитические расчеты показали, что наиболее выгодным среди рассмотренных способов является сплошное обетонирование трубопроводов.

3. Полученные аналитическим путем зависимости для определения требуемого объема материалов позволяют упростить трудоемкие расчеты, представленные в нормативных документах.

4. Графическая интерпретация выполненных расчетов позволяет выполнить сравнительный анализ различных вариантов балластировки трубопроводов, проходящих через водные преграды.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов. Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации.

Библиографический список

1. Кожаева К.В., Мустафин Ф.М., Якупова Д.Е. Методы расчета продольной устойчивости трубопровода и меры по ее обеспечению на участке подводного перехода // Нефтяное хозяйство. – 2016. – № 2. – С. 102–104.
2. Типовые расчеты при сооружении газонефтепроводов: учеб. пособие / Л.И. Быков, Ф.М. Мустафин, С.К. Рафиков и др. – СПб.: Недра, 2011. – 748 с.
3. Диагностика и расчет устойчивости трубопровода на участке подводного перехода / Ф.М. Мустафин, А.К. Абзалов, К.В. Куценко, Э.В. Мамлиев // Газовая Промышленность. – 2013. – № 700. – С. 41–43.
4. Сооружение перехода трубопровода через естественные и искусственные водотоки. Патент РФ № 125667 / Ф.М. Мустафин, В.М. Файрузов, М.Ю. Котов, Т.Р. Мустафин, Е.В. Ефимов, М.И. Миннигалин, Э.Р. Абсалямов, Цюнь Чэнь; заявитель и патентообладатель УГНТУ. – № 2012117688/06; заявл. 27.04.12; опубл. 10.03.13.
5. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2013615632. Расчет устойчивости трубопровода против воздействия продольных сил на участке подводного перехода / Мустафин Ф.М., Куценко К.В., Мамлиев Э.В., Абсалямов Э.Р. – № 2013613147; заявл. 18.04.13; опубл. 20.09.13.
6. Анализ конструктивных решений средств балластировки магистральных трубопроводов / Д.А. Гулин, О.И. Гайлунь, Р.Р. Хасанов, С.М. Султанмагомедов // Проектирование, сооружение и эксплуатация газонефтепроводов и газонефтехранилищ. – 2017. – № 4. – С. 5–10.
7. Закрепление трубопровода на проектных отметках от всплытия / С.М. Соколов, С.Ю. Торопов, Ю.Д. Земенков, М.Н. Редутинский // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2013. – № 6. – С. 209–216.

8. Долгов И.А., Васьков И.А., Горчаков В.А. Надежная и безопасная эксплуатация магистральных трубопроводов // Газовая промышленность. – 2006. – № 12. – С. 22–27.
9. Земенков Ю.Д., Дудин С.М., Бахмат Г.В. Повышение безопасности эксплуатации линейных участков магистральных газопроводов // Трубопроводный транспорт: теория и практика. – 2012. – № 5. – С. 36–39.
10. Попова А.И., Вишневецкая Н.С. Обетонирование трубы для сооружения магистральных газопроводных систем: учеб. пособие. – Ухта: УГТУ, 2013. – 71 с.
11. Попова А.И. Совершенствование методов входного контроля обетонированных труб для строительства нефтегазопроводов: учеб. пособие. – Ухта: УГТУ, 2013. – 245 с.
12. Сысоев Ю.С. Пространственная устойчивость подземного магистрального газопровода на обводненных участках трассы // Известия вузов. Нефть и газ. – 2012. – № 1. – С. 72–76.
13. Комаров Д.Н., Короленок В.А. Расчет трубопроводов на устойчивость от всплытия при строительстве подводных переходов // Труды Российского государственного университета нефти и газа им. И.М. Губкина. – 2010. – № 1. – С. 79–86.
14. Свечкопалов А.П. Новое в балластировке подводных нефтегазопроводов // Нефтегаз. – 2006. – № 1. – С. 3–4.
15. Профессиональная комплектация объектов нефтегазового комплекса ООО «НПО Энергия»: сайт. – URL: <http://energy-про.ru> (дата обращения: 26.04.2022).

References

1. Kozhaeva K.V., Mustafin F.M., Yakupova D.E. Metody` rascheta prodol`noj ustojchivosti truboprovoda i mery` po ee obespecheniyu na uchastke podvodnogo perexoda [Methods for calculating the longitudinal stability of the pipeline and measures to ensure it at the underwater crossing site]. *Neftyanoe khozyajstvo*, 2016, pp. 102-104.
2. Bykov L.I., Mustafin F.M., Rafikov S.K. Tipovyye raschety pri sooruzhenii gazonefteprovodov [Typical calculations for the construction of gas and oil pipelines]. Saint Petersburg, Nedra, 2011, 748 p.
3. Mustafin F.M., Abzalov A.K., Kutsenko K.V., Mamliev E.V. Diagnostics and calculation of pipeline stability in the section of the underwater transition. *Gazovaya promy`shlennost`*, 2013, no. 700, pp. 41-43.
4. Mustafin F.M., Fairuzov V.M., Kotov M.Yu., Mustafin T.R., Efimov E.V., Minnigalin M.I., Absalyamov E.R., Qun Chen. Pipeline crossing through natural and artificial waterways. Patent Rossiiskaia Federatiia no. 125667 (2013).
5. Mustafin F.M., Kutsenko K.V., Mamliev E.V., Absalyamov E.R. Calculation of pipeline stability against the impact of longitudinal forces in the section of the underwater crossing. State Registration Certificate for Computer Software no. 2013615632 (2013).
6. Gulin D.A., Gajlun` O.I., Xasanov R.R., Sultanmagomedov S.M. Analiz konstruktivny`x reshenij sredstv ballastirovki magistral`ny`x truboprovodov [Design, construction and operation of gas and oil pipelines and gas and oil storages]. *Proektirovanie, sooruzhenie i e`kspluatatsiya gazonefteprovodov i gazoneftexranilishh*, 2017, no. 4, pp. 5-10.
7. Sokolov S.M., Toropov S.Yu., Zemenkov Yu.D., Redutinskij M.N. Zakreplenie truboprovoda na proektny`x otmetkax ot vsply`tiya [Securing the pipeline to the design marks from surfacing]. *Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten`*, 2013, no. 6, pp. 209-216.

8. Dolgov I.A., Vas'kov I.A., Gorchakov V.A. Nadezhnaya i bezopasnaya e'kspluatsiya magistral'ny'x truboprovodov [Reliable and safe operation of trunk pipelines]. *Gazovaya promy'shlennost'*, 2006, no. 12, pp. 22-27.

9. Zemenkov Yu.D., Dudin S.M., Baxmat G.V. Povy'shenie bezopasnosti e'kspluatsii linejny'x uchastkov magistral'ny'x gazoprovodov [Improving the safety of operation of linear sections of main gas pipelines]. *Truboprovodny'j transport, teoriya i praktika*, 2012, no. 5, pp. 36-39.

10. Popova A.I., Vishnevskaya N.S. Obetonirovanie trubyy` dlya sooruzheniya magistral'ny'x gazoprovodny'x sistem [Concreting of pipes for the construction of main gas pipeline systems]. Uxta, UGTU, 2013, 71 p.

11. Popova A.I. Sovershenstvovanie metodov vxodnogo kontrolya obetonirovanny'x trub dlya stroitel'stva neftegazoprovodov [Improving the methods of input control of concreted pipes for the construction of oil and gas pipelines]. Ukhta, UGTU, 2013, 245 p.

12. Sysoev Yu.S. Prostranstvennaya ustojchivost' podzemnogo magistral'nogo gazoprovoda na obvodnenny'x uchastkax trassy` [Spatial stability of the underground main gas pipeline on the flooded sections of the route]. *Izvestiya vuzov. Neft' i gaz*, 2012, no. 1, pp. 72-76.

13. Komarov D.N., Korolenok V.A. Calculation of pipelines for stability against surfacing during construction of underwater crossings. *Proceedings of Gubkin Russian State University of Oil and Gas*, 2010, no. 1, pp. 79-86.

14. Svechkopalov A.P. Novoe v ballastirovke podvodny'x neftegazoprovodov [New in the ballasting of underwater oil and gas pipelines]. *Neftegaz*, 2006, no. 1, pp. 3-4.

15. Professional completion of objects of oil and gas complex OOO "NPO Energy", available at: <http://energy-npo.ru> (accessed 26 April 2022).