

УДК 621.644.07

МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ И БЕРЕГОУКРЕПЛЕНИЯ ПОДВОДНЫХ ПЕРЕХОДОВ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

Зыков М.А., Иванов В.А.

*ФГБОУ ВО «Тюменский государственный нефтегазовый университет» (ТюмГНГУ), Тюмень,
e-mail: general@tsogu.ru*

Как известно, трассы магистральных трубопроводов пересекают большое количество естественных и искусственных преград. Основными же являются переходы через водные преграды. От качества сооружения подводного перехода во многом зависит экологическая безопасность водных артерий. Таким образом, для эксплуатирующих организаций актуальной является задача совершенствования средств и методов мониторинга и ремонта подводных переходов. На сегодняшний день существует целый ряд способов восстановления проектных положений трубопроводных конструкций в местах их перехода через водные преграды. Однако для корректного выбора того или иного способа берегоукрепления в условиях труднодоступных мест пролегания трассы трубопровода, необходимо проводить оценку их эффективности. В данной статье рассмотрены основные способы берегоукрепления подводных переходов, дана оценка эффективности тех или иных конструкций.

Ключевые слова: магистральный трубопровод, капитальный ремонт, берегоукрепление, подводный переход, габионно-сетчатые изделия

METHODS OF PROTECTION AND BANK REVETMENT OF TRUNK PIPELINE'S UNDERWATER LINES

Zykov M.A., Ivanov V.A.

Tyumen state oil and gas university (TSOGU), Tyumen, e-mail: general@tsogu.ru

It's common knowledge, that oil and gas trunk pipelines cross a great number of natural and artificial barriers. And, of course, the most common are water barriers. The environmental safety of water resources in large measure depends on the quality of underwater line's construction. That's why an optimization of tools and methods of underwater line's monitoring and overhaul is appropriate. Today there are a lot of methods of pipeline's permanent position recovery. However, in order to achieve the most proper solution to a concrete bank revetment operations, the efficiency of one or another method should be appreciated. This article includes the description and efficiency evaluation of different underwater line's bank revetment methods.

Keywords: trunk pipeline, overhaul, bank revetment, pipeline's underwater line, gabion netted item

Как известно, с точки зрения логистики, наиболее быстрым и экономически эффективным способом транспортировки углеводородного сырья от мест добычи и подготовки до потребителя является трубопроводный транспорт.

Российская Федерация занимает первое место в мире по длине трубопроводных магистралей. Протяженность только магистральных трубопроводов превышает 250 тыс. километров [4].

Несмотря на свою эффективность, трубопроводный транспорт углеводородов предполагает собой широкий перечень проблем, связанных как со строительством трубопроводов, так и с их дальнейшей эксплуатацией. Одной из ключевых проблем является прокладка трубопроводов через естественные преграды. Как известно, акватория Российской Федерации представлена большим количеством озер и рек, а также болотами различных типов [5]. Для безопасной эксплуатации переходов через данные препятствия необходим постоянный мониторинг и обследование трасс, а также своевременный текущий и капитальный ремонт.

Исправное берегоукрепление обеспечивает залегание подводного перехода трубопровода на проектном уровне и тем самым значительно продлевает его срок службы. Поэтому в целях обеспечения сохранности защитной конструкции регулярно проводят её обследование, текущий и капитальный ремонт.

При текущем ремонте устраняют незначительные повреждения для предотвращения дальнейшего разрушения конструкции. К таким работам относятся:

- подсыпка гравия, щебня, камней (каменная наброска, гравийная отсыпка) или наполнителя (конструкции из ГСИ, георешеток, геоматов) в местах их выноса водным потоком, волной;

- восстановления проектного положения сползших в результате ненадежного закрепления железобетонных монолитных и гибких плит;

- повторный засев склона травяной смесью.

При капитальном ремонте неисправные части берегоукрепления заменяются новыми, либо конструкция заменяется целиком на другой вид укрепления. Предва-

рительно, на основании результатов периодического обследования решается вопрос о целесообразности дополнительного заглубления трубопровода и эффективности и экономичности при смене способа укрепления берега [6].

Также одной из основных проблем эксплуатации переходов через водные преграды, в том числе возникающей из-за нарушения берегоукрепления, является их размыв. Если стальная цилиндрическая оболочка трубопровода, внутри которого перекачивается продукт, при гидродинамических воздействиях попадает в резонансный режим, то уровень надежности конструкции подводного перехода снижается до минимального значения, а это означает, что возможен разрыв трубопровода.

Для укрепления берегов в створах подводных трубопроводов применяются различные сооружения из камня, которые особенно распространены в районах его карьерной добычи.

Мощение береговых откосов выполняется с тщательной подгонкой и прижимом камней в один или два слоя, где верхний слой состоит из более крупных камней. Однако, несмотря на небольшую стоимость используемого материала, данный способ берегоукрепления применяется редко из-за отсутствия возможности механизации, трудоемкости и больших временных затрат.

В отличие от мощения, укрепление наброской камня является одним из самых распространенных методов берегоукрепления. Каменная наброска выполняется как для надводной, так и для подводной части берега, сохраняя защитные свойства даже при неравномерной осадке откоса.

Наброску камня допускается применять при крутизне откоса до 1:1 (1:2 при больших скоростях течения и глубине воды более 6 м). Также учитывается, что угол заложения прикрываемого откоса не должен быть больше угла внутреннего трения слагающего его грунта. Уклон каменной наброски рекомендуется принимать равным 1:1,25. При использовании сортированного камня толщина каменного покрытия составляет $2,5D_k$, несортированного – $3D_k$.

Предварительно камни для наброски подбираются в зависимости от скорости течения (табл. 1).

Также подбор камней осуществляется исходя из способа укладки берегоукрепления и высоты волны. Отношение наибольших и наименьших линейных размеров камня для наброски должно быть не менее 3...4, для мощения – не более 2. Камни с наименьшим размером до 10 см могут быть легко перемещены вдоль склона под действием волновой нагрузки, что повлечет нарушение устойчивости укрепленного откоса. В то же время, конструкции из камня с размерами более 70 см имеют большие щели и не могут обеспечить защиту грунта от размыва. Таким образом, для обеспечения наилучших защитных свойств берегоукрепления мощением или наброской применяют камни от 15 до 50 см по наименьшему измерению [1].

Также в качестве берегоукреплений применяют покрытия из монолитных железобетонных плит и сборных бетонных конструкций.

Монолитное железобетонное покрытие представляет собой слой армированного бетона, разделенного швами на плиты и уложенного на обратный фильтр (подготовку из щебня и гравия). Такие конструкции рассчитаны на длительный срок эксплуатации и подходят как для надводных, так и подводных берегоукрепительных работ при скорости течения более 1,5 м/с и высоте волн более 0,5 м.

Толщина железобетонных плит ориентировочно определяется исходя из высоты волн, скорости водного потока и ледовых нагрузок (табл. 2, 3).

Укладка плит на береговом склоне обеспечивает его надежную защиту от размыва, к тому же плиты обладают высокой устойчивостью к ударной нагрузке от предметов, переносимых потоком воды. В связи с этим данный вид берегоукрепления успешно применяется при тяжелых ледовых условиях. Возможности использования железобетонных плит ограничены их относительно высокой стоимостью, уменьшением прочности бетона с течением времени из-за его разрушения корневой системой растений, а также затруднениями при укреплении склонов малого радиуса кривизны. Поэтому монолитные плиты целесообразно применять при небольших объемах работ на криволинейных участках или в сложных гидрологических условиях.

Таблица 1

Подбор камней для наброски

Скорость течения, м/с	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	5,0
Масса камня, кг	1,3	3,0	3,5	8,0	12	16	30

Таблица 2

Толщина железобетонных плит в зависимости от ледового режима реки

Толщина плиты, м	Допустимая толщина льда, м				
	при динамическом давлении льда	При статическом давлении свободноплавающего ледяного поля	При статическом давлении ледяного покрова	При термическом расширении ледяного покрова	При воздействии примерзшего ледяного покрова
0,10	0,8	1,2	0,6	0,8	0,6
0,15	1,0	1,2	0,8	1,2	0,8
0,20	1,2	1,2	1,0	1,2	1,2

Таблица 3

Толщина железобетонных плит в зависимости от гидрологических условий

Скорость течения, м/с	Толщина железобетонной плиты при высоте волны, м		
	до 1,0	1,0 – 5 – 1,3	1,3 + 1,75
0,10	0,8	1,2	0,6
0,15	1,0	1,2	0,8
0,20	1,2	1,2	1,0

Крепление из сборных бетонных плит представляет собой гибкую конструкцию из соединенных между собой отдельных бетонных блоков. Гибкие бетонные покрытия используются при проведении берего- и дноукрепительных работ; также они рекомендованы для защиты береговых откосов горных рек.

Поскольку металлическая соединительная арматура данных видов покрытий подвержена быстрому коррозионному разрушению, в настоящее время более широко применяются универсальные гибкие защитные бетонные маты (УГЗБМ). УГЗБМ состоят из 36 бетонных блоков, соединенных между собой замоноличенным синтетическим канатом диаметром от 10 мм и длиной 0,5 м (с разрывной нагрузкой от 2000 кгс). По периферии мата устроены выпуски каната, служащие в качестве монтажных петель. Для предотвращения сдвига полотна крепят стальными скобами (анкерами). Бетонные блоки представляют собой две усеченные пирамиды с общим основанием. В настоящее время наибольшее применение нашли 4 модели УГЗБМ.

Однако существенным недостатком данной конструкции является применение металлических соединительных скоб, подверженных коррозии, вследствие чего может произойти сползание отдельных элементов покрытия вниз по склону. Кроме того, при забивании скобы в грунт нарушается сплошность подложки из НСМ.

В настоящее время, наиболее перспективным способом берегоукрепления является применение габионно-сетчатых изде-

лий (ГСИ). Габионы представляют собой конструкции различной формы, изготовленные из сетки двойного кручения с шестиугольными ячейками.

Согласно ГОСТ Р 51285-99 для изготовления сетки применяют низкоуглеродистую или углеродистую обыкновенного качества стальную проволоку. Для защиты и изоляции проволоки применяют покрытие цинком и его сплавами или полимерами, например, ПВХ-пластикатом.

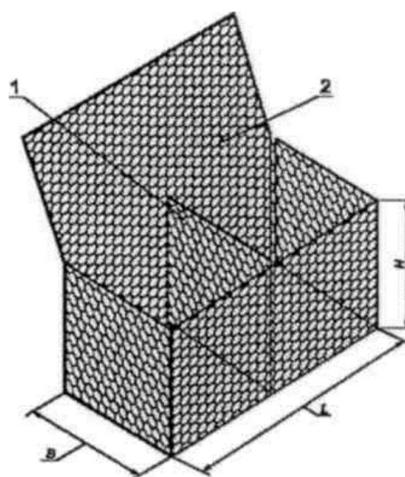


Рис. 1. Схема коробчатого габиона.
1 – диафрагма, 2 – крышка

ГСИ представлены различными конструкциями, выбор из которых производится согласно требованиям по укреплению

берегов. Основные типы ГСИ, указанные в ГОСТ Р 52132-2003:

- коробчатые;
- матрацно-тюфячные;
- цилиндрические.

Коробчатые габионы представляют собой сетчатые короба, разделенные внутри диафрагмами, располагающимися на расстоянии 1 м (рис. 1). Различные размеры габионов позволяют применять их для сооружения подпорных стен, укрепления русел рек и возведения ограждений. Однако технология ремонтных работ с помощью данных конструкций весьма трудоемка и требует дополнительной подготовки склона.

Матрацно-тюфячные габионы или матрацы Рено – параллелепипеды большой площади и относительно малой высоты, разделенные внутри диафрагмами, располагающимися с интервалом в 1 м (рис. 2). Большая гибкость в сравнении с коробчатыми ГСИ уменьшает объем работ по подготовке склона перед устройством берегоукрепления, а малая высота позволяет применять данный тип ГСИ для укрепления всего русла реки.

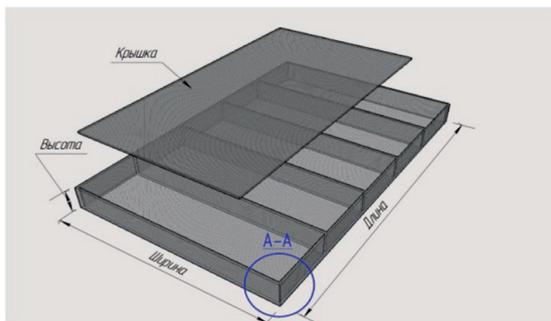


Рис. 2. Матрацно-тюфячные ГСИ

Сетки заполняются бутовым камнем или минеральным грунтом в обойме из нетканого синтетического материала. Вес таких конструкций, заполненных инертным материалом, составляет 5–7 т, что соответствует весу балластировочных железобетонных пригрузов.

В случае балластировки трубопровода применением ГСИ нет необходимости на труднодоступные места трасс трубопроводов доставлять дорогие железобетонные конструкции, т.к. целесообразно в качестве балластировки использовать местный материал (камень, песок, грунт и т.д.). Данный тип ГСИ отлично применим при ремонте размывших участков подводного перехода.

Использование матрацев Рено позволяет обеспечить надежную балластировку

по причине их гибкости и плотного обложения трубопроводов. Если рассматривать систему трубопровод-грунт, то трубопровод в результате температурного изменения является динамической системой, а грунт – статической. По этой причине трубопровод находит «слабое» место и изменяет высотное положение. При балластировке матрацем имеем две подвижные системы и стабильное положение трубопровода [2].

На рис. 3 представлена схема балластировки подводного перехода трубопровода, по которой вдоль трубопровода укладываются цилиндрические ГСИ, а сверху – матрац Рено. Такая конструкция работает надежно уже в течение 7 лет в створе реки Обь в районе города Сургута на глубине 18 м и при скорости течения воды 3–5 м/сек.



Рис. 3. Балластировка подводного перехода матрацами Рено

Использование матрацев Рено совместно с цилиндрическими габионами позволяет в значительной мере защитить подводный переход от колебаний, а также обеспечить его дополнительную устойчивость за счет заполнения размывших подтрубных участков. В данном случае на размывшем участке обустраиваются три динамических составляющих (два цилиндрических габиона и один матрац Рено), образующих в совокупности единую систему, снижающую влияние гидродинамических сил водного потока на уложенный трубопровод.

Цилиндрические габионы – это конструкции из сетки двойного кручения диаметром 0,65 или 0,95 м, связанные по торцам проволокой (рис. 4). Цилиндрические ГСИ применяются для сооружения основания берегоукрепления при высоком горизонте вод.

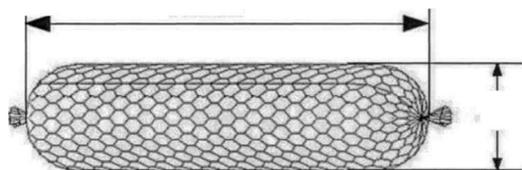


Рис. 4. Цилиндрический габион

Работы по сооружению берегоукрепления из ГСИ включают в себя:

- разработку и планировку берегового откоса. Следует учитывать, что крутизна откоса при укладке коробчатых и матрацнотюфячных ГСИ не должна превышать 1:2;

- укладку полотна из НСМ. Также вместо НСМ устраивают щебеночную или гравийную подготовку толщиной 0,2...0,4 м;

- раскладывание и соединение между собой сетчатых каркасов. Габионы, прикрывающие подошву склона, укладывают длинной стороной вдоль течения, а габионы, укрепляющие непосредственно береговой откос, – в направлении уклона;

- закрепление пустых коробов анкерами диаметром 16... 19 мм, забиваемыми по углам коробов.

Широкое применение ГСИ в качестве типа берегоукрепления обусловлено универсальностью, долговечностью и малыми затратами на используемую технику. Благодаря разнообразию конструкций габио-

ны могут применяться при больших углах заложения откоса и в сейсмоактивных районах [3]. Габионные конструкции имеют высокую водопроницаемость, к тому же, пространство между камнями со временем заполняется мелкодисперсным грунтом, что способствует росту растений, и, как следствие, укреплению сооружения корневой системой растений. Таким образом, габионы становятся естественной частью ландшафта и имеют длительный срок службы.

Список литературы

1. Зыков М.А., Иванов В.А. К вопросу применения современного оборудования для ремонта изоляционного покрытия магистральных трубопроводов // Известия вузов «Нефть и газ». – 2014. – № 4. – С. 29–35.
2. Иванов В.А., Вольнец И.Г. Материалы для строительства нефтегазовых объектов. – Тюмень: ОАО «Тюменский дом печати», 2012. – 256 с.
3. Иванов В.А., Зыков М.А. Система обслуживания и ремонта магистральных трубопроводов на современном этапе развития // Известия вузов «Нефть и газ». – 2015. – № 5. – С. 77–79.
4. Иванов В.А., Зыков М.А., Рыбин В.А. Применение лазерных технологий при замене гидроизоляционного покрытия магистральных трубопроводов // «Газовая промышленность». – 2015. – № 7. – С. 49–51.
5. Иванов В.А., Лысяный К.К. Надежность и работоспособность конструкций магистральных нефтепроводов. – Санкт-Петербург: «Наука», 2003. – 319 с.
6. Иванов В.А., Савиных Ю.А., Зыков М.А. Альтернативный метод замены наружного дефектного гидроизоляционного покрытия трубопроводов // «Фундаментальные исследования». – 2015. – № 2–17. – С. 3709–3712.