

УДК 622.692.4.053

КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПОДВОДНЫХ ПЕРЕХОДОВ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ ЧЕРЕЗ СУДОХОДНЫЕ РЕКИ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ И УСЛОВИЯ СУДОХОДСТВА

Герасимов Сергей Сергеевич¹, аспирант кафедры ВПиГС

e-mail: Gerasimov.s.sergeevich@mail.ru

Ситнов Александр Николаевич¹, профессор, д.т.н.

e-mail: stnv1952@rambler.ru

¹ Волжский государственный университет водного транспорта, Нижний Новгород, Россия

Аннотация. Подводные переходы магистральных трубопроводов (ППМТ) строят несколькими способами, одним из которых является траншейный. ППМТ, построенные этим методом, оказывают существенное влияние на гидрологический режим судоходных рек и условия судоходства. В работе рассмотрены основные конструктивные особенности ППМТ и приведен краткий анализ указанного выше влияния.

Ключевые слова: безопасность судоходства; магистральные трубопроводы; математическое моделирование; русловая эрозия.

DESIGN FEATURES OF UNDERWATER CROSSINGS OF MAIN PIPELINES ACROSS SHIPPING RIVERS AND THEIR IMPACT ON THE HYDROLOGICAL REGIME AND NAVIGATION CONDITIONS

Sergey S. Gerasimov¹, Doctoral student

e-mail: Gerasimov.s.sergeevich@mail.ru

Aleksandr N. Sitnov¹, Professor, Doctor of Technical Sciences

e-mail: stnv1952@rambler.ru

¹ Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. Underwater pipeline crossings (UPCs) are constructed using several methods, one of which is trenching. UPCs constructed using this method have a significant impact on the hydrological regime of navigable rivers and navigation conditions. This paper examines the main design features of UPCs and provides a brief analysis of the impact noted above.

Keywords: navigation safety; main pipelines; mathematical modeling; channel erosion.

Магистральные трубопроводы, используемые в нефтегазовой отрасли, зачастую проходят через водные объекты. Места, где трубопровод пересекает водный объект,

называются подводными переходами магистральных трубопроводов (ППМТ) [1]. Каждый ППМТ является объектом повышенной опасности, в том числе и для условий судоходства. Наибольшую угрозу для ППМТ, построенных траншейным методом, представляют реки с интенсивным русловым процессом, как правило, характеризующиеся наличием активной береговой и русловой эрозии [2]. Развитие русловой эрозии сначала приводит к возникновению участков с недостаточным заглублением, после к оголению трубопровода и в конце концов к провисам. Провис трубопровода может привести к его разрушению, а вместе с тем и к серьезным экологическим последствиям, вызванным выбросом нефти и нефтепродуктов в окружающую среду, а в частности – в водный объект. Вместе с тем и судоходство может испытывать серьезные проблемы из-за аварий на магистральных трубопроводах, вплоть до полной его остановки на конкретном участке.

По методу строительства ППМТ, можно выделить несколько основных: траншейный метод, горизонтально-направленное (ГНБ) и наклонно-направленное бурение (ННБ) и микротоннелирование.

Траншейный метод (открытый способ) — это классический и наиболее распространенный метод прокладки трубопроводов. Он заключается в выемке грунта для создания траншеи, укладке труб, их изоляции, засыпке и последующем восстановлении ландшафта (рис. 1, а).

Наклонно-направленное бурение (ННБ) — это способ сооружения скважин со сложным пространственным профилем, при котором бур отклоняется от вертикали по заранее заданной траектории. Он позволяет обойти геологические препятствия и достичь труднодоступных точек (рис. 1, б).

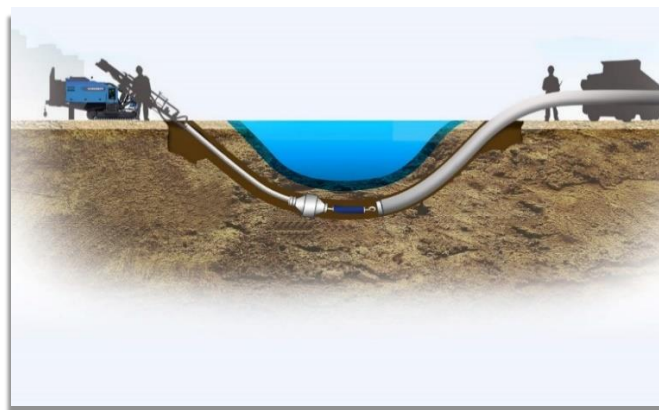
Горизонтально-направленное бурение (ГНБ) – это высокотехнологичный метод прокладки подземных коммуникаций без вскрытия грунта. Технология позволяет прокладывать трубопроводы, кабели и другие коммуникации под дорогами, водоемами, зданиями и другими препятствиями (рис. 1, в).

Микротоннелирование — это высокоточный бестраншейный метод прокладки подземных коммуникаций (трубопроводов, коллекторов) с помощью автоматизированных проходческих комплексов без присутствия людей в выработке (рис. 1, г).

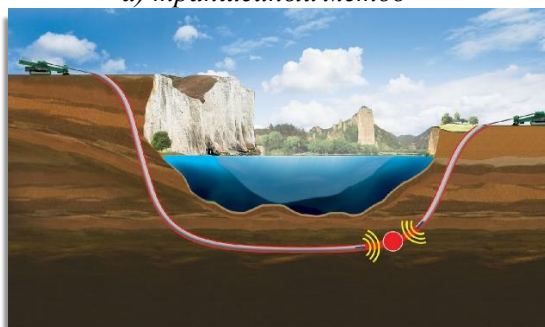




а) траншейный метод



б) Наклонно-направленное бурение (ННБ)



в) Горизонтально-направленное бурение (ГНБ)



г) Микротоннелирование

Рисунок 1 – Методы строительства ППМТ

ППМТ, построенные методом бурения или микротоннелирования, как правило, не оказывают влияния на гидрологический режим и условия судоходства ввиду сравнительно большой глубины заложения трубопровода, которая, как правило, варьируется в диапазоне от 10 до 20 м. На гидрологический режим и условия судоходства оказывают влияние ППМТ, построенные траншейным способом, который подразумевает проведение комплекса земляных работ, что приводит к изменению рельефа русла и, соответственно, к изменению гидрологического режима на локальном уровне за счет изменения площади живого сечения реки в створе трубопровода. Из условия неразрывности потока следует, что при изменении площади живого сечения происходит изменение средней скорости течения, которое, в свою очередь, влияет на характер и интенсивность русловых переформирований.

Строительство ППМТ оказывает локальное, но интенсивное воздействие на гидрологический режим. Оно вызывает временные изменения уровней и скоростей течения, трансформацию русла и повышение мутности воды из-за земляных работ.

Влияние ППМТ, построенных траншейным методом, на гидрологический режим выражается следующим:

Нарушение русла: при рытье подводных траншей разрушается естественный донный профиль. В месте выемки грунта образуется искусственное расширение или углубление.

Изменение скоростей течения: локальное увеличение сечения потока замедляет скорость течения, а намыв отвалов грунта (дамб) у берегов, наоборот, может вызывать сужение русла и повышение скорости потока. Оценить русловую эрозию можно с помощью выполнения математического моделирования гидравлики потока [3] и сравнить полученные значения скорости течения с теми значениями допустимой неразмывающей скорости, которые приведены в нормативной литературе [4].

Твердый сток: земляные работы, особенно с использованием гидромониторов или взрывных методов, приводят к залповому поступлению взвешенных веществ. Взвесь может переноситься течением на значительные расстояния, оседая в зонах замедленного тока.

Деформации дна: после засыпки траншеи нарушенная структура грунта становится подвержена повышенной эрозии (размыву) в период весенних паводков.

При проектировании и строительстве ППМТ следует учитывать аспекты, оказывающие негативное и положительное влияние, связанные с созданием безопасных условий судоходства и выполнение экологических ограничений.

К положительным аспектам относятся:

Повышение безопасности эксплуатации. Современные технологии строительства (например, бестраншейные методы — горизонтальное направленное бурение, метод «труба в трубе», микротоннелирование) позволяют минимизировать нарушение естественного рельефа, береговых склонов и водного режима реки. Это снижает риск механического повреждения трубопровода судами и волнового воздействия.

Снижение риска аварий. При соблюдении проектных требований и регулярном техническом обслуживании подводные переходы обеспечивают безаварийную эксплуатацию. Это уменьшает вероятность разливов транспортируемых веществ, которые могут привести к экологическим катастрофам и ограничению судоходства.

К негативным аспектам относятся:

Повреждения трубопроводов. Размыв дна в месте прокладки трубопровода из-за скоростей течения реки и движения судов, просадка корпуса судна на мелководье — всё это потенциальные риски, которые могут привести к механическим повреждениям трубопровода.

Ограничение судоходства. Выход трубопровода из строя (например, из-за всплытия, разгерметизации или столкновения с судном) может привести к ограничению или полной остановке судоходства на участке аварии.

Опасность для судов. Подводные переходы магистральных трубопроводов, по которым транспортировка продуктов производится под давлением, считаются потенциально опасными для судоходства из-за взрывопожарных свойств транспортируемых веществ (нефти, нефтепродуктов, газов).

Одной из ключевых проблем безопасности судоходства является движение судов на мелководье. В связи с малым запасом глубины под днищем, судно, испытывая дифферент, может коснуться оголенного трубопровода, что категорически недопустимо. В правилах плавания [5] имеется рекомендация для судоводителей, которая призывает к снижению скорости движения на мелководном участке, однако конкретных значений скорости нет.

Проведенный анализ конструктивных особенностей ППМТ показал, что активное влияние на гидрологический режим судоходных рек и условия судоходства в целом влияние оказывают ППМТ, построенные траншейным способом ввиду проведения комплекса земляных работ, нарушающих естественную форму русла, а вместе с тем и структуру потока, что может привести к негативным последствиям. Уменьшение или увеличение площади живого сечения влияет на среднюю скорость потока, последняя, в свою очередь, оказывает влияние на транспортирующую способность потока. Изменение скоростного режима на локальном участке реки влияет на русловые переформирования, которые могут быть как положительными, так и негативными. Ключевой опасностью для судоходства является его полное ограничение на участке водных путей в связи с разливом нефти в акваторию. Таким образом, безопасность эксплуатации ППМТ и безопасность судоходства неразрывно связаны и требуют комплексного рассмотрения при решении прикладных и научных задач.

Список литературы:

1. СП 86.13330.2022 Магистральные трубопроводы.
2. Герасимов, С. С., & Ситнов, А. Н. (2024). Обзор и анализ способов оценки влияния условий эксплуатации подводных переходов магистральных трубопроводов на безопасность судоходства. Научные проблемы водного транспорта, (79), 209-218. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi79.495>
3. Patankar S. Numerical methods for solving problems of heat transfer and fluid dynamics / Per. from English. – М.: Energoatomizdat, 1984. – 152 p.
4. ВСН 163-83. Учет деформаций речных русел и берегов водоемов в зоне подводных переходов магистральных трубопроводов (нефтегазопроводов)" (утв. Миннефтегазстроем 09.06.1982; Мингазпромом 10.11.1983; Миннефтепромом 16.09.1983; Госкомнефтепродуктом РСФСР 12.08.1982; Госкомгидрометом 19.12.1983).
5. Правила плавания судов по внутренним водным путям : утв. Приказом Минтранса России от 19.01.2018 № 19 (ред. от 23.12.2021) // СПС «КонсультантПлюс».

