

УДК 624.131.3

**С.К. Мустафин, Р.Ф. Бадретдинов**

Башкирский государственный университет, г. Уфа

## КОМПЛЕКСНЫЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ НА ОБЪЕКТЕ СТРОИТЕЛЬСТВА РЕЧНОГО ПЕРЕХОДА НЕФТЕПРОВОДА МЕТОДОМ ГОРИЗОНТАЛЬНО- НАПРАВЛЕННОГО БУРЕНИЯ

Рассмотрены геологические аспекты инженерно-геологических изысканий на участке строительства подводного речного перехода через реку Кама протяженностью более 700 метров. Впервые для проведения инженерно-геологических изысканий на изучаемой территории эффективно применен беспилотный летательный аппарат. Второй инновационной технологией, примененной на объекте, стало подводное эхолотирование дна и русла реки. При изысканиях на участке строительства перехода сочетались возможности комплекса традиционных методов инженерно-геологических изысканий (геоморфологических, геофизических, гидрогеологических, физико-механических и др.) с инновационными технологиями: использование дрона при рекогносцировке и выборе места перехода и эхолокации дна реки для обеспечения минимизации рисков разрушения объекта. Обосновано проведение перехода по горизонту аргиллитоподобных известковистых песчаных легких твердых глин казанского яруса (инженерно-геологический элемент-8).

*Ключевые слова: сифон, грунт, инженерно-геологический элемент, физико-механические свойства, дрон, эхолот дна реки, горизонтально-направленное бурение (ГНБ).*

**DOI: 10.17072/chirvinsky.2022.161**

**Введение.** Площадь изысканий относится к Верхнекамской впадине Волжско-Камской антеклизы - одной из структур Восточно-Европейской платформы. В геологической структуре платформы выделяются древний (1800±100 млн. лет) фундамент и осадочный чехол мощностью 7,5 – 8 км. Локализацию участков отложений чехла региона определяет блочное строение фундамента [1].

На участке инженерно-геологических изысканий для обеспечения строительства исследованы образования от пермского до четвертичного возраста.

В основании разреза отложения казанского яруса пермской системы, представлены ритмичной, красноцветной толщей глин, песчаников, алевролитов мощностью 110 - 225 м.

Аллювиальные образования четвертичной системы слагают комплекс отложений речных долин – галечники, пески, супеси, суглинки, торфа общей мощностью до 30 м.

В геоморфологическом отношении площадь изысканий приурочена к долине реки Кама. Долина реки на участке изысканий имеет ширину около 4 км трапецевидную форму с асимметричными склонами и прямое русло.

Из опасных инженерно-геологических процессов возможно проявление карста, оползней, подтопления, заболачивания, эрозионной деятельности. На участке проявлено заболачивание.

Район работ относится к асейсмической области. По категории опасности землетрясений, территория относится к умеренно опасной (интенсивность менее 6 баллов).

Процессы нефтедобычи техногенных изменений геологической среды - гидрогеологических инженерно-геологических условий и физико-механические свойств грунтов не вызвали.

**Материалы и методы исследований.** При строительстве переходов магистральных и промысловых нефтепроводов с использованием метода горизонтально-направленного бурения (horizontal directional drilling (HDD)) сегодня активно применяется как зарубежными, так и российскими компаниями [19].

Эффективность строительства и безопасность эксплуатации с минимизацией экологических рисков на всех этапах жизненного цикла этих сложных инженерных сооружений должна быть обеспечена современной качественной информацией комплексных инженерно-геологических изысканий сочетающих традиционные и инновационные методы.

**Инженерно-геологическая рекогносцировка** выполнялась с целью оценки условий площадок для прокладки промыслового нефтепровода (ДУ-200) через реку Кама. Для выбора участка строительства перехода инновационным методом HDD использовался дрон.

Участки подводных переходов, по указанным причинам являются постоянными зонами риска.

Эхолотирование рельефа дна реки проведено с целью минимизации возможных рисков проявления опасных геологических и гидрологических процессов. Данные оптимизируют выбор трассы перехода и места заложения скважин. Информация будет востребована на всех этапах жизненного цикла перехода, включая последующий экологический мониторинг. Для топографической съёмки рельефа и

ситуации, эффективно применение геодезической GPS аппаратуры и электронных тахеометров. Для съёмки рельефа подводной части перехода применяются однолучевые и многолучевые промерные эхолоты [3, 12].

В геологическом разрезе участка выделены 8 инженерно-геологических элементов (ИГЭ).

**Результаты исследований.** В геологическом строении района работ до изученной глубины 18,0 м принимают участие современные ( $Q_{IV}$ ) отложения, аллювиальные (aQ), аллювиально-делювиальные (adQ) четвертичные образования и элювий казанского яруса пермской системы ( $eP_1.kz$ ). Сводный инженерно-геологический разрез с выделением инженерно-геологических элементов и их литологических характеристик приведён в таблице.

К специфическим грунтам отнесены элювиальные и техногенные образования. Современные образования представлены почвенно-растительным слоем ( $bQ_{IV}$ ) и насыпными техногенными грунтами ( $tQ_{IV}$ ). Мощность почвенно-растительного слоя составляет 0,1-0,3 м.

Почвенно-растительный слой как самостоятельный инженерно-геологический элемент не выделяется, поскольку удаляется при проведении земляных работ и затем рекультивируется.

Техногенные насыпные грунты отсыпки автодороги распространены фрагментарно, не являются грунтами основания и как инженерно-геологический элемент (ИГЭ) не выделяются.

Статическое зондирование позволило дать оценку основным физико-механическим свойствам грунтов участка строительства перехода нефтепровода методом HDD.

С учетом геологического строения, литологических особенностей, результатов анализа физико-механических свойств грунтов выделены 8 инженерно-геологических элементов (ИГЭ): ИГЭ-1 – суглинок полутвердый (adQ); ИГЭ-2 – суглинок тугопластичный (adQ); ИГЭ-3 – глина тугопластичная (aQ); ИГЭ-4 – глина мягкопластичная (aQ); ИГЭ-5 – песок мелкий влажный (aQ); ИГЭ-6 – песок мелкий водонасыщенный (aQ); ИГЭ-7 – грунт гравийный (aQ); ИГЭ-8 – глина твердая ( $eP_2.kz$ ).

Гидрогеологические условия участка изысканий до глубины 18,0 м определяются развитием одного водоносного комплекса в аллювиальных четвертичных отложениях.

Грунтовые воды пластово-поровые, с единой гидравлической поверхностью, безнапорные.

Питание грунтовых вод происходит за счет инфильтрации атмосферных осадков, талых вод и в водообильные периоды года

поверхностными водами рек Кама. Связь грунтовых вод с поверхностными постоянная двусторонняя. Вид режима подземных вод – приречный.

Минерализация вод от 0,62 до 1,31 г/л, pH =7,6-7,7; жесткость от умеренно-жесткой до очень жесткой. По химическому составу воды хлоридно - гидрокарбонатные кальциево- натриево-калиевые и сульфатно-гидрокарбонатные кальциево- натриево-калиевые. По данным инженерно-экологических изысканий содержание нефтепродуктов в водах <0,05 мг/дм<sup>3</sup>.

Водовмещающими грунтами являются: ИГЭ-4 (глина мягко пластичная), ИГЭ-6 (песок мелкий), ИГЭ-7 (грунт гравийный). Максимальная мощность водовмещающей толщи составляет 9,0 м.

Таблица

*Сводный инженерно-геологический разрез отложений участка строительства подземного перехода методом HDD*

Возраст	№ ИГЭ	Описание	Мощность, м	
			от	до
adQ	1	Суглинок коричневый полутвердый с включением корней растений. Вскрыт в левой и правой пойме скважинами	0,9	1,9
	2	Суглинок коричневый тугопластичный без включений. Вскрыт в левобережной пойме скважинами	1,6	1,7
aQ	3	Глина серая тугопластичная с тонкими прослоями и линзами песка мелкого мощностью 2-5 см. Вскрыта в правобережной пойме скважинами	0,6	5,0
	4	Глина серая мягкопластичная с тонкими прослоями и линзами песка мелкого мощностью 2-5 см. Вскрыта в правобережной пойме скважинами	0,1	2,0
	5	Песок серый мелкий влажный с тонкими прослоями суглинка серого, серо-коричневого мощностью 5-10 см. Вскрыт в левой, правой пойме и русловой части р. Кама скважинами	0,1	3,7
	6	Песок серый мелкий водонасыщенный с тонкими прослоями суглинка серого, серо-коричневого мощностью 5-10 см. Вскрыт в левой, правой пойме и русловой части р. Кама скважинами	0,3	5,8
	7	Гравийный грунт коричневый, серо-коричневый водонасыщенный. Вскрыт в левобережной пойме и русловой части р. Кама скважинами	0,4	6,0
eP <sub>2</sub> kz	8	Глина аргиллитоподобная известковая песчаная легкая твердая красновато-коричневая ненабухающая непросадочная с включениями карбонатных стяжений и прослоями (от 5 до 15 см) светло-серого, песчаника сильнопористого сильно выветрелого, средней плотности, низкой прочности, размягчаемого в воде. Вскрыта скважинами в русле р. Кама.	6,3	14,4

Относительный водоупор - ИГЭ-8 (глина твердая), вскрытая скважинами, имеющая мощность от 6,3 до 14,4 м. Глины соответствуют требованиям строительства методом HDD.

Коэффициенты фильтрации, классификация грунта по водопроницаемости определены для:

- глины 0,05 м/сут, (грунт слабоводопроницаемый) (ИГЭ-8);
- суглинка 0,08 м/сут, (грунт слабоводопроницаемый);
- песка мелкого от 1,5 до 5,0 м/сут, (грунт водопроницаемый, сильноводопроницаемый);
- грунта гравийного 10-100 м/сут, (грунт очень сильноводопроницаемый).

Подземные воды по содержанию основных компонентов относятся к неагрессивным по отношению к бетону.

Степень агрессивного воздействия подземных вод и грунтов на металлические конструкции ниже уровня подземных вод оценивается как слабоагрессивная. Выше уровня подземных вод степень среднеагрессивная для ИГЭ-1, ИГЭ-2, ИГЭ-3, ИГЭ-4 и для слабоагрессивная для ИГЭ-5, ИГЭ-6, ИГЭ-8.

По отношению к свинцовой оболочке кабеля коррозионная агрессивность грунтовых вод оценивается как средняя, к алюминиевой как высокая.

По критериям подтопляемости участок изысканий отнесен к типу постоянно подтопленный в техногенно измененных условиях. Нормативная глубина промерзания грунтов составляет для: суглинков и глин – 158 см; песков мелких - 189 см; крупнообломочного грунта 230 см.

Геофизические исследования выполнялись с целью оценки: 1) коррозионной активности грунтов и 2) интенсивности и характера блуждающих токов. По данным определения удельного электрического сопротивления коррозионная активность грунтов по отношению к углеродистой и низколегированной стали оценивается от низкой до высокой: для ИГЭ-1, ИГЭ-2, ИГЭ-3, ИГЭ-4 как высокая; для ИГЭ-5, ИГЭ-6 от средней до низкой; для ИГЭ-8 как средняя.

Исследования методом естественного поля блуждающих токов на объекте не выявило.

По результатам химического анализа водной вытяжки грунтов установлено, что:

1) по коррозионной агрессивности грунты объекта изысканий по отношению к бетонам любой водонепроницаемости и арматуре железобетонных конструкций неагрессивны.

2) коррозионная агрессивность грунтов по отношению к свинцовой оболочке кабеля оценивается как низкая для ИГЭ-1; от низкой до высокой для ИГЭ-2, ИГЭ-8; от низкой до средней для ИГЭ-3, ИГЭ-5.

3) коррозионная агрессивность грунтов по отношению к алюминиевой оболочке кабеля оценивается как высокая для ИГЭ-1, ИГЭ-3; от средней до высокой для ИГЭ-2, ИГЭ-5; как средняя для ИГЭ-8.

4) коррозионную агрессивность грунтов водовмещающей толщи (ИГЭ-4, ИГЭ-6, ИГЭ-7) следует принять по химическому составу грунтовой воды.

Инженерно-геологическое районирование территории характеризуется рядом особенностей, определяющих благоприятные условия строительства перехода методом HDD:

- Геологические и инженерно-геологические процессы: имеют широкое распространение, но не оказывают решающего влияния на выбор проектных решений и строительство объекта.
- Район работ расположен в пределах одного геоморфологического элемента.
- В геолого-литологическом строении территории участвует восемь инженерно-геологических элементов.
- Сезонное промерзание и оттаивание, морозное пучение, подтопление, затопление и заболачивание, отрицательно влияют на условия строительства и эксплуатации объектов.
- Специфические грунты имеют незначительное распространение и не оказывают решающего влияния на выбор проектных решений по методу HDD.
- Техногенные воздействия на окружающую среду не оказывают существенного влияния на выбор проектных решений по строительству перехода методом HDD.
- Многолетнемерзлых, просадочных, набухающих, засоленных грунтов на территории изысканий не наблюдается.

При выборе места пересечения трубопроводом водных преград обязательно учитываются: направление и особенности трассы, тип руслового процесса, ширина и глубина водоема, водный режим, состояние береговых склонов, геологическое строение русла, берегов, поймы.

Срок действия результатов инженерно-геологических изысканий для проектирования составляет 2-3 года, затем всей этой информации потребуются обязательная актуализация.

Ширина русла реки на участке перехода - 700 м, максимальная глубина фарватера - 12.5 м.

Основными инженерно-геологическими условиями исключаящими

возможность применения метода HDD при строительстве переходов являются наличие гравийных грунтов (гравия более 30%), грунтов типа пльвунов, включения валунов и булыжников. Такие инженерно-геологические показатели глинам ИГЭ-8 участка изысканий не свойственны.

Грунт ИГЭ-8 классифицируется как глина известковая, легкая, песчанистая, твердая ненабухающая с редкими тонкими прослоями песчаника. Песчаник низкой прочности, средней плотности, сильнопористый, сильновыветрелый, размягчаемый в воде. Грунт ИГЭ-8 непросадочный (относительная деформация просадочности меньше 0,01 д. е.), по степени морозной пучинистости в сезонно-морозном слое имеет расчетное значение параметра  $R_f < 0$ , что характеризует его как непучинистый.

Гранулометрический анализ глин казанского яруса, слагающих ИГЭ-8, показал следующие результаты (мм): 2-1 – 2,05%; 1-05 – 0,7%; 05-0,25 – 6,94%; 0,25-0,10 – 16,01%; 0,10-0,05 – 16,92%; 0,05-0,01 – 11,77%; 0,01 – 0,002 – 15,91%;  $< 0,002$  – 31,97%.

По химическому составу глины ИГЭ-8 отвечают монтмориллонит-гидрослюдистым разностям. Для них характерно пониженное содержание (%)  $Al_2O_3$ , высокие содержания  $K_2O$  -2,38 и  $CaCO_3$  – 10,35 [2].

Для размещения нефтепровода при строительстве перехода методом HDD твёрдые глины ИГЭ-8 по мощности (6,3 – 14,4 м) и физико-механическим свойствам являются подходящими.

Публикаций по тематике строительства различных переходов методом HDD много, что особенно характерно для последнего десятилетия. Рассматриваются различные аспекты проблемы строительства переходов методом HDD, включая анализ требований к состоянию геологической среды и задач по снижению рисков связанных с эксплуатацией объектов. Широкий спектр характеристик различных объектов построенных по методу HDD представлен в публикациях канадских [8, 9, 10, 16, 17], американских [13, 16], китайских [11, 13, 20], малагасийских [14], нигерийских [18] исследователей.

Публикуются международные канадско-американские [10] и американо-китайские [13] аналитические обзоры практики применения метода HDD при строительстве переходов.

Среди немногочисленных российских публикаций по проблеме бестраншейного строительства переходов нефтепроводов отмечаются работы [7, 9, 13].

Подходящим модельным объектом перехода нефтепровода на участке проведённых изысканий по методу HDD может служить схема

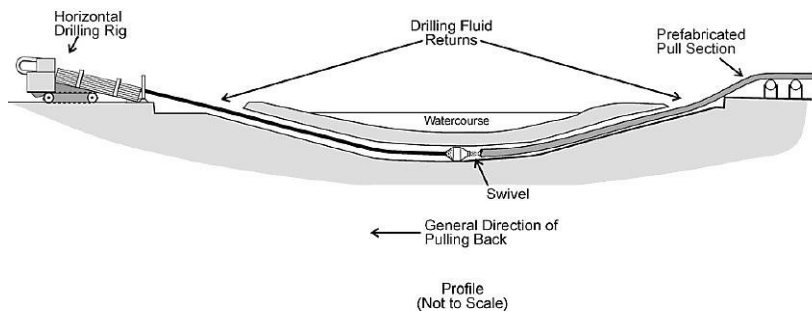


Рис. Схема технологии строительства перехода – типовое горизонтально-направленное бурение (профиль внемасштабный) [15].

*Основные технологические элементы объекта:*

horizontal drilling rig – установка горизонтального бурения; drilling fluid returns – возврат бурового раствора; prefabricated pull section - сборная тяговая секция; watercourse – водоток;

swivel – вертлюг; general direction of pulling back – общее направление отвода; profile (not to scale) – профиль (не в масштабе); General direction of Pulling Back – направление отступления (протаскивания).

из материалов The Canadian Association of Petroleum Producers (CAPP) и Canadian Energy Pipeline Association (CEPA) [15] (рис.).

**Выводы.** Строительство перехода промыслового нефтепровода через р. Кама обеспечено качественной информацией полученной в процессе комплексных инженерно-геологических изысканий. Эффективности выполнения работ способствовало оптимальное сочетание комплекса традиционных инженерно-геологических работ с инновационными, новыми для территории исследований методов. К последним относятся дистанционный метод (дрон), и съёмка рельефа подводной части перехода (комплекс геодезической GPS аппаратуры, электронных тахеометров, промерных эхолотов).

Результаты комплексного исследования состояния геологической среды участка строительства перехода магистрального нефтепровода позволили обосновать применение для размещения трубопровода горизонта глин казанского яруса, выделенного в качестве инженерно-геологического элемента ИГЭ-8. Горизонт глин по всем базовым параметрам состава обеспечит эффективное строительство и последующую безопасную эксплуатацию перехода с минимальными технологическими и экологическими рисками.

*Работа выполнена в рамках исследовательского проекта Башкирского государственного университета.*



### Библиографический список

1. Геология СССР Том XI Поволжье и Прикамье. Ч.1. Геологическое описание. М.: Недра, 1967. – 871 с.
2. Геология Татарстана: Стратиграфия и тектоника. М.: ГЕОС. 2003. – 402 с.
3. *Гринь Г.А., Мурзинцев П.П.* Геодезический мониторинг подводных переходов трубопроводов на территории Западной Сибири. Сборник материалов международной научной конференции «ГЕО-Сибирь- 2008». Новосибирск. 2008. – С. 150-156.
4. *Забродин Ю.Н.* Строительство магистральных трубопроводов: технологии, организация, управление. – М.: Недра, 2001. – 195 с.
5. *Сальников, А.В., Зорин В.П., Агиней П.В.* Методы строительства подводных переходов газонефтепроводов на реках Печорского бассейна –Ухта: УГТУ, 2008. – 108 с.
6. *Спектор Ю.И., Мустафин Ф.М., Лаврентьев А.Е.* Строительство подводных переходов способом горизонтально направленного бурения. – Уфа: УГНТУ, 2001. – 208 с.
7. *Bennett D., Ariaratnam S.T.* HDD Consortium 2008 Horizontal Directional Drilling Good Practices Guidelines 3rd ed. North American Society for Trenchless Technology; (Cleveland,Ohio) pp. 2-45.
8. Canadian Association of Petroleum Producers. Planning Horizontal Directional Drilling for Pipeline Construction. September, 2004. – 82 p.
9. Canadian Association of Petroleum Producers 2009 Guideline; Planning Horizontal Directional Drilling for Pipeline Construction (Alberta, Canada) pp. 1-3.
10. *Erez N. Allouche, Samuel T. Ariaratnam, Jason S. Lueke.* A Survey of Current Horizontal Directional Drilling Practices in Canada and the United States. 2005. The McGraw-Hill Companies, Inc.Pipeline Associated Watercourse Crossings 3rd Edition, October 2005. 202 p.
11. *Guohui, L., Xiaocheng, Ma, Chunling, Y.* (2016). Engineering Innovation of a Length of Nearly 3300m large Diameter Pipeline Installed by HDD. Earth Sciences Research Journal, 20(1), p.1-5.
12. *John E. Huges Clarke.* A reassessment of vessel coordinate systems: what is it that we are really aligning? US Hydrographic Conference. 2003. pp.1-12.
13. *Maureen Carlin, Samuel T.Ariaratnam.* Comparative analysis of horizontal directional drilling pipeline practices in China vs. United States. Tunnelling and Underground Space Technology Volume 72, February 2018, pp. 174-188.
14. *Mohd Norizam MS et al.* Literature review of the benefits and obstacle of horizontal directional drilling. 2017 IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 271.
15. Pipeline Associated Watercourse Crossings 3rd Edition, October 2005. 202 p.
16. *Samuel T. Ariaratnam, Erez N. Allouche.* Suggested practices for installations using horizontal directional drilling. Practice Periodical on Structural Design and Construction. Nov 1. 2000. Volume 5, № 4. pp. 142-149.
17. *Samuel T Ariaratnam, Erez N Allouche, and Kevin W Biggar.* Testing of a new generation horizontal soil sampler. Canadian Geotechnical Journal. 37(1). 2000. pp. 259-263.
18. *U Ibeh S.U., Nnakaihe S.E. E.* Challenges and Prospects of the Use of Horizontal Directional Drilling Techniques for Laying Oil and Gas Pipelines in Nigeria. Paper presented at the SPE Nigeria Annual International Conference and Exhibition, Lagos, Nigeria, August 2016. Paper Number: SPE-184315-MS.
19. *Willoughby D. A.* 2005 Horizontal Directional Drilling, Utilities and Pipeline Application. NewYork: McGraw-Hill. pp. 1-9.
20. *Xu Liu, Zhijiu Ai, et al.* Mechanics analysis of pipe lifting in horizontal directional drilling. Journal of Natural Gas Science and Engineering. 2016. 31. pp. 272-282.

INTEGRATED ENGINEERING AND GEOLOGICAL SURVEYS AT  
THE FACILITY CONSTRUCTION OF A RIVER CROSSING OF AN  
OIL PIPELINE USING HORIZONTAL DIRECTIONAL DRILLING

**Mustafin S.K., Badretdinov R.F.**

*sabir.mustafin@yandex.ru*

The article considers the geological aspects of engineering-geological surveys at the construction site of an underwater river crossing over the Kama River with a length of more than 700 meters. For the first time, an unmanned aerial vehicle has been effectively used to conduct engineering and geological surveys in the study area. The second innovative technology applied at the site was underwater echo sounding of the river bed and bottom. During surveys at the construction site of the crossing, the capabilities of a complex of traditional methods of engineering-geological surveys (geomorphological, geophysical, hydrogeological, physical-mechanical, etc.) were combined with innovative technologies: the use of a drone for reconnaissance and selection of the crossing site and echolocation of the river bottom to ensure minimization of the risks of destruction object. The passage of argillite-like calcareous sandy light hard clays of the Kazan stage (engineering-geological element-8) along the horizon is substantiated.

*Keywords: siphon, soil, engineering-geological element, physical and mechanical properties, drone, riverbed echo sounder, horizontal directional drilling (HDD).*