

ИННОВАЦИИ В ОБЛАСТИ МОРСКОГО СТРОИТЕЛЬСТВА: ОТ ТРУБ ДО ТРУБОПРОВОДА – ПРОЕКТ «ТУРЕЦКИЙ ПОТОК»

УДК 622.691.4+551.462.32

Дж. Чаудури, South Stream Transport B.V. (Амстердам, Нидерланды), jay.chaudhuri@turkstream.info

А.В. Никулин, South Stream Transport B.V., aleksandr.nikulin@turkstream.info

Э. Юрдик, д.ф.-м.н., South Stream Transport B.V., erich.jurdik@turkstream.info

О.Е. Аксютин, д.т.н., чл.-корр. РАЕН, чл.-корр. МАТН, ПАО «Газпром» (Санкт-Петербург, РФ)

Морские газопроводы в России относятся к новому виду транспортировки газа и за счет ряда преимуществ получают быстрое развитие. Обсуждение особенностей применения новых технологических решений при их строительстве представляется особенно актуальной темой. В статье показаны трудности при прокладке протяженного газопровода по дну Черного моря. Отмечено, что строительство газопровода «Турецкий поток» потребовало применения новых технических решений и их оперативной реализации, исходя из предыдущего опыта сооружения газопровода «Голубой поток». Представлены конструкция и процесс производства труб, изготавливаемых на отечественных трубных заводах с использованием утолщенных вставок – гасителей лавинного смятия. Дана информация о крупнейшем трубоукладочном судне, способном обеспечить высокую скорость укладки газопровода и качество сварочно-монтажных работ. Также приведено новое решение по применению микротоннелирования на российском береговом участке. Дано описание нового подхода к гидроиспытаниям глубоководного газопровода и показано, что впервые за счет использования высокотехнологических методов строительства и контроля качества на всех этапах проекта была доказана возможность отказаться от проведения дорогостоящих традиционных испытаний.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: МОРСКОЙ ГАЗОПРОВОД, СТРОИТЕЛЬСТВО, ГРАНИЦА КОНТИНЕНТАЛЬНОГО ШЕЛЬФА, ТРУБОУКЛАДОЧНОЕ СУДНО, ГАСИТЕЛЬ ЛАВИННОГО СМЯТИЯ, ГИДРОИСПЫТАНИЯ.

Планирование строительства газопровода в условиях сверхглубоких вод (глубина более 1500 м) длится годы. Каждый такой проект представляет собой сложнейшую инженерную задачу, но немногие могут сравниться по технической сложности с проектом «Турецкий поток» (рис. 1), инициированным ПАО «Газпром» в 2011 г. с целью поставки 31,5 млрд м³ природного газа в год в Турцию и Европу. Условия в Черном море, по дну которого проложены две нитки газопровода, весьма сложны для прокладки трубопроводов. Сложности связаны не только с глубиной Черного моря, достигающей около 2200 м (внешнее давление ~22 МПа), но и с существенным содержанием в воде

сероводорода, обладающего коррозионным действием.

Морской участок газопровода проходит по крутому склону на границе континентального шельфа в российских водах. Укладка труб на 43-градусном склоне на обрыве российского шельфа – чрезвычайно сложный вызов для большинства обычных трубоукладочных судов (рис. 2).

«Турецкий поток» стал первым проектом ПАО «Газпром» по укладке газопровода в сверхглубоких водах, который компания реализует полностью самостоятельно. Проект предполагает морскую укладку двух ниток газопровода протяженностью по ~935 км каждая. Работы начались в 2011 г. на базе знаний, получен-

ных ПАО «Газпром» при реализации проекта «Голубой поток» (2003 г.) совместно с партнером – компанией ENI.

Ведущим трубопрокатным заводам из разных стран было предложено решить непростую задачу – произвести трубы, способные выдерживать экстремально высокое давление под водой, сохраняющие целостность в агрессивной среде на протяжении расчетного срока эксплуатации в 50 лет, с диаметром и толщиной стенки, обеспечивающими максимальную экономичность при строительстве и эффективность при поставках газа.

После тщательных производственных испытаний в 2012 г. для выпуска труб были выбраны рос-

J. Chaudhuri, South Stream Transport B.V. (Amsterdam, Netherlands), jay.chaudhuri@turkstream.info

A.V. Nikulin, South Stream Transport B.V., aleksandr.nikulin@turkstream.info

E. Jurdik, Doctor of Sciences (Physics and Mathematics), South Stream Transport B.V., erich.jurdik@turkstream.info

O.E. Aksyutin, Doctor of Sciences (Engineering), Corresponding Member of the Russian Academy of Natural Sciences, Corresponding Member of the International Academy of Technological Sciences, Gazprom PJSC (Saint Petersburg, Russian Federation)

Innovations in the area of maritime construction: from pipes to pipeline – the TurkStream project

Offshore gas pipelines in the Russian Federation belong to the new type of gas transportation, they are rapidly developing due to a number of advantages. A discussion of the features of the application of new technological solutions in their construction seems to be a particularly relevant topic.

The article shows the difficulties in laying the extended gas pipeline under the Black Sea. It was noted that the construction of the TurkStream gas pipeline required the use of new technical solutions and their operational implementation, based on previous experience of the Blue Stream gas pipeline building. The design and production process of pipes manufactured in domestic pipe plants using strengthened inserts – the buckle arrestors are presented. Information is given on the largest pipe-laying vessel capable of providing high gas pipeline laying speed and quality of welding and assembly work. A new solution for the use of microtunneling on the Russian onshore site is also provided. The description of the new approach to hydraulic testing of the deep-sea gas pipeline is given and it is shown that the possibility to abandon the expensive traditional tests has been proved for the first time, using high-tech construction methods and quality control at all stages of the project.

KEYWORDS: OFFSHORE GAS PIPELINE, CONSTRUCTION, CONTINENTAL SHELF BORDER, PIPELAYING VESSEL, BUCKLE ARRESTOR, HYDROTEST.

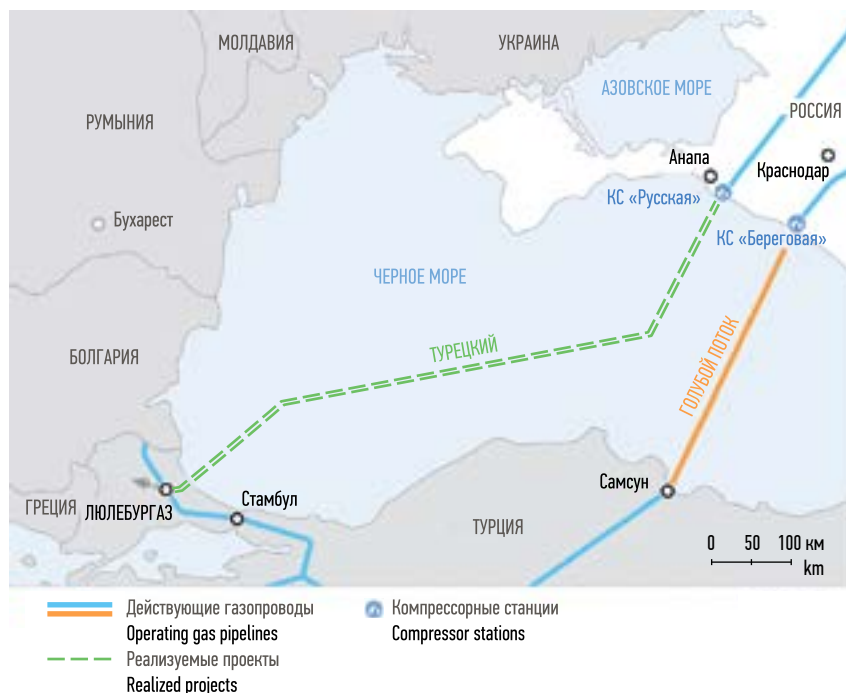


Рис. 1. Газопровод «Турецкий поток»
Fig. 1. TurkStream gas pipeline

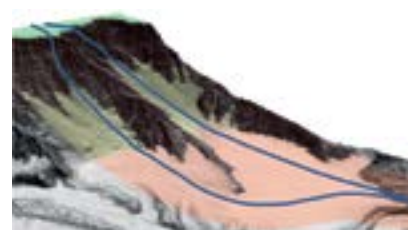


Рис. 2. Склон на обрыве шельфа в российских водах
Fig. 2. Slope on the shelf break in the waters of the Russian Federation

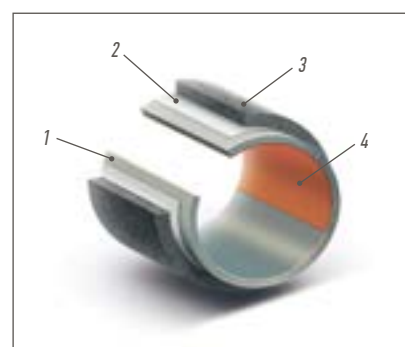


Рис. 3. Конструкция труб по проекту «Турецкий поток» (включая утяжеляющее бетонное покрытие): 1 – стальная стенка; 2 – трехслойное полипропиленовое покрытие; 3 – утяжеляющее бетонное покрытие; 4 – эпоксидное покрытие
Fig. 3. Pipe design for the TurkStream project (including weighting concrete pavement): 1 – steel wall; 2 – three-layer polypropylene coating; 3 – weighting concrete pavement; 4 – epoxy coating

сийские трубопрокатные заводы – Выксунский металлургический и Ижорский трубный, а также немецкий завод Europipe и японский консорциум Marubeni-Itchu and Sumitomo. В 2013 г. предприятия начали производство 155 тыс. труб для проекта.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ТРУБ

В процессе прокатки листового металла и формирования труб, особенно с учетом требований проекта «Турецкий поток», происходит частичное снижение прочности материала в связи со

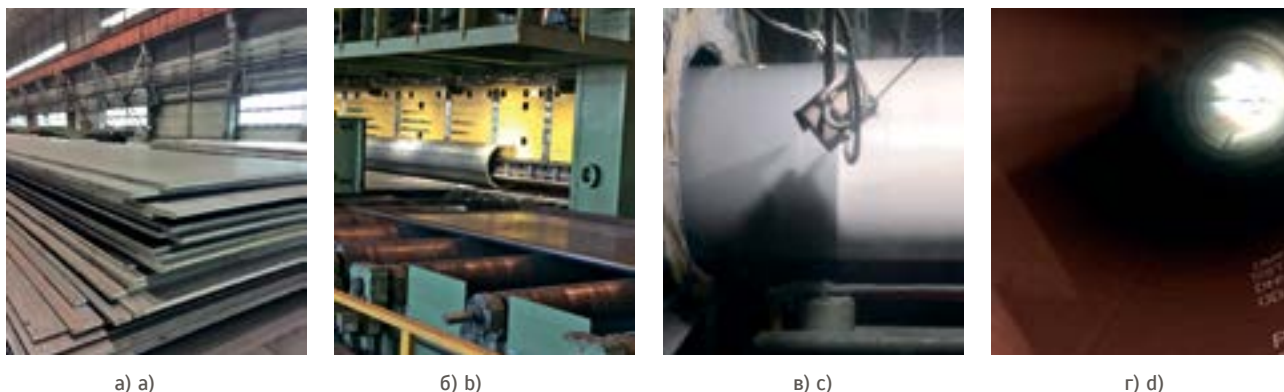


Рис. 4. Производственный процесс на российских трубопрокатных заводах: а) заготовки и листы; б) трубы без покрытия; в) внешнее покрытие; г) внутреннее покрытие
Fig. 4. Production process at the Russian pipe plants: a) rough materials and sheets; b) pipes without coating; c) external coating; d) internal coating

смещением межзеренных границ. Термообработка изогнутых стальных труб может восстановить исходную твердость материала, но на практике 100%-ное восстановление твердости требует специализированных знаний о поведении сплавов при термической обработке. До проекта «Турецкий поток» этот процесс не применялся в трубопроводной отрасли в условиях массового производства. Впервые в массовом производстве труб трубопрокатные заводы разработали надежный производственный процесс, обеспечивающий восстановление свойств материала на 100 %.

Конструкция трубопровода проиллюстрирована на рис. 3 и 4. Толщина стенки 39 мм обеспечивает достаточную прочность труб для сопротивления не только внутреннему давлению газа (28,4 МПа), но и внешнему давлению воды, а также силам, действующим на трубопровод при укладке в условиях экстремальной глубины воды.

Для уменьшения трения при прохождении потока газа на внутреннюю поверхность труб нанесено гладкое эпоксидное покрытие толщиной чуть больше десятой доли миллиметра. Эпоксидное полипропиленовое покрытие наружной поверхности защищает трубы от коррозионной среды и внешнего воздействия.



Рис. 5. Гаситель лавинного смятия на газопроводе
Fig. 5. Buckle arrester on the gas pipeline

Вместе с тем толщины стенки в 39 мм недостаточно, чтобы предотвратить лавинное смятие труб в результате инцидента при строительстве или аварийной ситуации. Для борьбы с этим явлением через каждые 4 км устанавливаются гасители лавинного смятия, имеющие толщину стенки 74 мм, достаточную для того, чтобы остановить распространение смятия (рис. 5). Выбранный внешний диаметр труб (813 мм) обеспечивает эффективную поставку необходимых объемов газа при оптимальном давлении.

ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ КРУПНЕЙШЕГО СТРОИТЕЛЬНОГО СУДНА

Когда проект «Турецкий поток» находился в стадии проектирования, компания Allseas завершила строительство судна Pioneering

Spirit, призванного преобразовать весь сектор морского строительства, крупнейшего строительного судна в мире (рис. 6).

Катамаранная конструкция и длина 382 м позволяют судну Pioneering Spirit работать в условиях, недоступных для других судов, что сокращает общую длительность простоев при строительстве морских газопроводов. Согласно расчетам, мощность натяжителей судна Pioneering Spirit (2000 т) и сварочных установок также позволит повысить скорость укладки труб. «Турецкий поток» стал первым проектом судна Pioneering Spirit по укладке труб.

Команда свыше 500 чел. и шесть сварочных постов позволили судну Pioneering Spirit вести укладку труб с высокой скоростью. Судно поставило рекорд скорости укладки труб – 6,3 км/сут. Для это-

го в течение 24 ч было выполнено более 500 сварных стыков, т. е. на каждую трубу приходилось менее 3 мин. При этом высокая скорость укладки на судне *Pioneering Spirit* не означает компромисса в отношении качества, так как для его обеспечения сварные швы проходят проверку ультразвуком.

Кроме того, судно *Pioneering Spirit* продемонстрировало способность работать с однотрубными и двухтрубными секциями (используемыми на проекте «Турецкий поток») со средней скоростью укладки около 5 км/сут, тогда как средняя скорость по отрасли составляет 3,7 км/сут. Это позволило сэкономить для проекта «Турецкий поток» около 6 мес.

ТЕХНОЛОГИЯ МИКРОТОННЕЛИРОВАНИЯ

Инновации потребовались и на российском береговом участке в Анапе, чтобы соединить линейный участок газопровода от объектов берегового примыкания с морским участком, проложенным по дну Черного моря в условиях крутого склона и высокой плотности населения на прилегающей территории. Австрийская строительная компания *Strabag* предложила подходящее решение – инновационную технологию микротоннелирования, предполагающую бурение двух закрепленных бетоном шахт через массивные горные породы (рис. 6).

При помощи сверхсовременного тоннелепроходческого комплекса (*Herrenknecht AG*) и линейной лебедки *KTC 800* (*Bezemer Group B.V.*) максимальной мощностью 800 т две нитки морского газопровода были протянуты через микротоннели на берег.

ОТКАЗ ОТ ГИДРОИСПЫТАНИЙ

По завершении строительства морского трубопровода перед подачей газа или нефти согласно стандартным отраслевым практикам проводятся его гидроиспытания: через трубопровод прокачивается отфильтрованная морская



Рис. 6. Прохождение судном *Pioneering Spirit* пролива Босфор
Fig. 6. Passing the Bosphorus by the *Pioneering Spirit* vessel



Рис. 7. Конструкция микротоннеля
Fig. 7. Microtunnel design

вода, чтобы выявить возможные утечки. Это традиционный, дорогой и долгий процесс. Гидроиспытания на сверхвысокой глубине требуют учета особых условий при проектировании трубопровода для контроля последствий потенциального поперечного выпучивания в связи с высоким внутренним давлением при проведении испытаний. Фактически такие требования создают дополнительные ограничения при проектировании, означающие дополнительные риски и расходы по их снижению. Как правило, испытания проводятся под надзором международного агентства по сертификации (например, *DNV-GI*), чтобы подтвердить соответствие трубопровода основным техническим требованиям в отношении целостности по окончании строительства.

За счет применения сверхсовременных производственных процессов и в результате строгого контроля качества на всех

этапах проекта агентство *DNV-GI* освободило ПАО «Газпром» от необходимости проводить гидроиспытания. «Турецкий поток» стал первым морским газопроводом, построенным по стандартам *DNV-GI*, который был освобожден от гидроиспытаний. Это позволило значительно сэкономить время и средства на этапах строительства газопровода и пусконаладочных работ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Стремление задать новый уровень стандартов в проектировании, строительстве и контроле качества позволило ПАО «Газпром» совместно с многими его поставщиками и подрядчиками реализовать ряд инноваций в сфере сверхглубоководной укладки труб, преодолев множество технических сложностей. Проект будет завершен в ближайшей перспективе (подача газа ожидается в декабре 2019 г.) и станет приносить прибыль в течение многих лет. ■