

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ БАЛЛАСТНЫХ ПОКРЫТИЙ ИЗ ОСОБО ТЯЖЕЛЫХ БЕТОНОВ НА ПОТЕРЮ УСТОЙЧИВОСТИ ТРУБОПРОВОДА

УДК 621.644.07

В.Я. Великоднев, д.т.н., ООО «Трубные инновационные технологии» (Москва, РФ), info@pipeintech.com

М.Ю. Митрохин, д.т.н., ПАО «Газпром» (Санкт-Петербург, РФ)

П.В. Погребняков, АО «Газпром СтройТЭК Салават» (Москва, РФ), info@gazpromss.ru

Г.В. Котишевский, ООО «Интеллект Альянс» (Москва, РФ), gennady.k@i-alliance.ru

А.С. Миклуш, к.т.н., АО «Газпром СтройТЭК Салават», miklush.a@gazpromss.ru

А.О. Подвойский, к.т.н., АО «Газпром СтройТЭК Салават», podvoisky.a@gazpromss.ru

Стальные обетонированные трубы широко применяются в строительстве при сооружении переходов магистрального трубопровода через водные преграды и на морских участках. Нанесение бетонного покрытия выполняется методами набрызга, набивки и с помощью скользящей опалубки. Также известен способ изготовления обетонированных труб, при котором закачка бетонной смеси в оболочку осуществляется под давлением. Особенность данной технологии состоит в том, что при ее использовании должны применяться литые, самоуплотняющиеся или близкие к ним по свойствам бетонные смеси, так как гарантировать сплошное заполнение межтрубного пространства с расположенными внутри арматурным каркасом и распорными элементами с помощью менее подвижных смесей крайне сложно. Существует вероятность, что тяжелая дисперсная фаза в высокоподвижной бетонной смеси будет оседать быстрее, чем смесь затвердеет. При этом ее локализация происходит в окрестности нижней образующей металлополимерной оболочки с той стороны трубы, с которой подается бетонная смесь. Из-за этого возможно появление существенной разницы в весе на концах обетонированных труб. Потенциальную опасность неравномерного распределения плотности бетонной смеси (с тяжелой дисперсной фазой) по длине балластного покрытия приходится рассматривать как трудноустраняемую особенность технологии. Ситуация также осложняется тем, что металлополимерная оболочка препятствует прямому контролю качества бетона. В статье авторы предлагают: уточнить область применения обетонированных труб, покрытие которых изготовлено методом закачки бетонной смеси под давлением; дополнить нормативные документы, регламентирующие требования к качеству бетонного покрытия обетонированных труб, требованием, согласно которому по результатам экспериментальных данных должны определяться не только выборочное среднее значение плотности образца-керна, но и коэффициент вариации.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ОБЕТОНИРОВАННАЯ ТРУБА, ОСОБО ТЯЖЕЛЫЕ БЕТОНЫ, БЕТОННОЕ ПОКРЫТИЕ, ПОТЕРЯ УСТОЙЧИВОСТИ ТРУБОПРОВОДА.

Стальные обетонированные трубы (ОТ) находят широкое применение в строительстве линейной части переходов магистрального трубопровода через водные преграды, в том числе на морских участках, где кроме всего прочего требуется дополнительная защита трубопровода от различного рода механических воздействий.

В настоящее время известны три основные технологии нанесения бетонного покрытия (в соответствии с ГОСТ Р 54382–2011 [1], DNV-OS-F101 [2] от 2007 г., СТО Газпром 2–3.7–050–2006 [3] и др.): набрызг, набивка и с помощью скользящей опалубки.

В СТО Газпром 2–2.2–334–2013 [4] предусмотрен еще один спо-

соб изготовления ОТ, предполагающий закачку бетонной смеси в оболочку под давлением.

Нанесение наружного утяжеляющего бетонного покрытия методом набрызга за счет высокого уплотнения бетонной смеси позволяет получать бетон с низкой проницаемостью, высокой коррозионной стойкостью покрытия

Velikodnev V.Ya., Doctor of Sciences (Engineering), Pipe Innovation Technologies LLC (Moscow, Russian Federation), info@pipeintech.com

Mitrokhin M.Yu., Doctor of Sciences (Engineering), Gazprom PJSC (Saint Petersburg, Russian Federation)

Pogrebnyakov P.V., Gazprom StroyTEK Salavat JSC (Moscow, Russian Federation), info@gazpromss.ru

Kotishhevsky G.V., Intellect Alliance LLC (Moscow, Russian Federation), gennady.k@i-alliance.ru

Miklush A.S., Candidate of Sciences (Engineering), Gazprom StroyTEK Salavat JSC, miklush.a@gazpromss.ru

Podvoisky A.O., Candidate of Sciences (Engineering), Gazprom StroyTEK Salavat JSC, podvoisky.a@gazpromss.ru

Influence of technological features of weight coating manufacturing from heavy concretes on the pipeline buckling

Steel pipes with concrete coating are widely used in construction of the main pipeline crossings through water barriers and on the offshore sites. The concrete coating is applied by impingement application, compression coating, slip forming. Meanwhile, in some documents, another way of manufacturing the pipes with concrete weight coating is indicated, which involves pumping a concrete mixture into a shell under pressure. The concrete mix, used in the filling of high-density reinforcement and thin-walled structures, should have a high mobility. For manufacturing of the ballast coatings by injection under pressure, the molded, self-sealing or other concretes, similar to them in properties, should be applied, because it is extremely difficult to ensure a continuous filling of the annulus located inside the cage and the spacer elements with the help of less mobile compounds.

There is a possibility that the heavy dispersion phase in a highly mobile concrete mixture will settle faster than the mixture will harden. So, it will localize in the vicinity of the lower forming metal-polymer shell on the side of the pipe from which the concrete mixture is fed. Because of this, a significant difference in weight at the ends of the concreted pipe can appear. The potential danger of uneven distribution of the density of the concrete mixture (with a heavy dispersed phase) along the length of the ballast coating should be considered as a difficult avoidable feature of technology. The situation is complicated by the metal-polymer shell itself, which prevents the direct control of the quality of concrete.

This article proposes to clarify the application area of concreted pipes made by injection of a concrete mix by pressure, as well as to supplement the normative documents regulating requirements to quality of concrete covering concreted pipes by the requirement that not only the sample mean value of the density of sample-core, but the coefficient of variation should be determined by the results of the experimental data.

KEYWORDS: CONCRETE WEIGHT COATED PIPE, HEAVY CONCRETE, CONCRETE COATING, PIPELINE BUCKLING.

к воздействию агрессивных сред и воздействию окружающей среды (сульфатостойкость, водонепроницаемость и т. д.), а низкое воздухововлечение обеспечивает высокую механическую прочность, сплошность, однородность и трещиностойкость бетонного покрытия. При производстве покрытия применяется бетонная смесь с низким водоцементным отношением, что способствует быстрому набору проектной прочности. Обнаруживаемые при внешнем осмотре дефекты легко идентифицируются и поддаются измерительному и приборному контролю.

При нанесении наружного бетонного покрытия методом набивки готовая смесь подается из смесительного шнека в контейнер, а затем наносится на трубу вместе с арматурной сеткой. На заключительном этапе наносится

полиэтиленовая пленка, создающая эффект пропаривания, которая удаляется по достижении транспортной прочности. Труба совершает сложное винтовое движение: вращается относительно своей оси и перемещается вдоль нее. Бетонная смесь дополнительно уплотняется вибророликами.

Методы набрызга и набивки объединяет то, что бетонное покрытие формируется послойно с уплотнением и возможностью контроля равномерности распределения твердого инертного заполнителя (твердой дисперсной фазы), обеспечивая оптимальное сочетание фракций в каждой точке объема. На практике, как правило, когда говорят об особо тяжелых бетонах, то имеют в виду плотность около 3400 кг/м³. Теоретически возможно получить бетон и более высокой плотности.

Изготовление бетонного покрытия методом скользящей опалубки – наиболее трудоемкая, сложная и низкопроизводительная технология. Важно отметить, что в соответствии с нормами РФ бетонирование в скользящей или стационарной опалубке на конструкционный бетон обязательно сопровождается процессом вибрационного уплотнения. Данная технология применяется крайне редко.

Вышеперечисленные технологии нанесения бетонного покрытия далее условно будем относить к классическим.

Идея же изготовления бетонных покрытий для балластировки и защиты труб методом закачки бетонной смеси в оболочку под давлением заключается в том, что кольцевой зазор, образованный между поверхностью трубы и оболочкой, заполняется бетон-

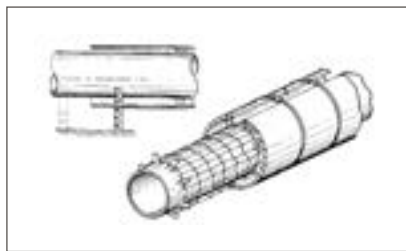


Рис. 1. Эскиз трубы, подготовленной для нанесения бетона, согласно патенту US № 3267969 [5]
Fig. 1. Esquisse of a pipe prepared for the application of concrete, according to the US patent No. 3277969 [5]

ной смесью, нагнетаемой насосом. Уплотнение смеси не предусматривается. Конструкция ОТ с покрытием, изготовленным по указанной технологии, подробно описана в документе СТО Газпром 2-2.2-334-2013 [4].

Эта идея не нова. В патенте US № 3267969 Reinforced weighted pipe («Армированная утяжеленная труба»), поданном 17 августа 1964 г., рассматриваются подобная конструкция ОТ и способ нанесения бетонного покрытия (рис. 1) [5]. В 1989 г. патент перестал действовать.

Примечательно, что эта конструкция и технология изготовления не получили широкого распространения и не нашли отражения в нормативной документации. Возможно, причиной, сдерживающей внедрение этой технологии, послужила недостаточная изученность особенностей технологии и последствий ее нарушения.

В п. С205 стандарта DNV-OS-F101 [2] от 2007 г. способ изготовления бетонного покрытия методом зачекки бетонной смеси под давлением не упоминается, однако указываются другие способы: набрызг, набивка и с помощью скользящей опалубки (перевод названий технологий нанесения покрытия выполнен в соответствии с п. F206 документа СТО Газпром 2-3.7-050-2006 [3]). Из актуализированной редакции документа (см., например, DNV-OS-F101 [6] от 2012 г.) пункт, ука-

зывающий способы нанесения покрытия, был исключен.

В 2003 г. был получен российский патент № 2257503 РФ на аналогичный способ нанесения балластного покрытия (БП) на поверхность трубы для подводного трубопровода [7].

Анализируя особенности технологии зачекки бетонной смеси в оболочку под давлением, замечено, что многие свойства бетона зависят от его плотности, на величину которой влияют плотность цементного камня, вид заполнителя и структура бетона.

В соответствии с ГОСТ 25192-2012 [8] по средней плотности бетоны подразделяют:

- на особо легкие (марки по средней плотности менее D800);
- легкие (марки по средней плотности от D800 до D2000);
- тяжелые (марки по средней плотности более D2000 до D2500);
- особо тяжелые (марки по средней плотности более D2500).

Особо тяжелые бетоны приготавливают на тяжелых заполнителях, например на стальных опилках (сталебетон), железной руде (лимонитовый и магнетитовый бетоны), баритовой руде (см. например, [9]), гранитной крошке, шлаковых отходах металлургических производств и пр.

По удобоукладываемости бетонные смеси подразделяются на марки в соответствии с ГОСТ 7473-2010 [10]. В большинстве случаев к литым бетонным смесям относят бетонные смеси с распылом конуса с маркой P5 и более и осадкой конуса, равной 24 см и более P5 [11].

Как отмечается в работе [12], при добавлении комплексных химических добавок, которые включают суперпластификатор, могут быть получены (без увеличения расхода цемента) нерасслаивающиеся литые бетонные смеси, приближающиеся по пластическим свойствам к самоуплотняющимся смесям. Благодаря данной технологии они будут отличаться меньшей себестоимостью.

Такие смеси рекомендуется укладывать с помощью напорной технологии бетонирования, в стесненных условиях, а также при бетонировании тонкостенных и густоармированных конструкций [13].

Таким образом, логично заключить, что при изготовлении БП методом зачекки под давлением в силу особенностей данной технологии должны применяться литые, самоуплотняющиеся или какие-либо другие близкие к ним по свойствам бетонные смеси, так как гарантировать сплошное заполнение межтрубного пространства с расположенными внутри арматурным каркасом и распорными элементами с помощью менее подвижных смесей крайне сложно (велика вероятность образования воздушных раковин и карманов, рис. 2).

Так, например, в п. 1.4.8.2 ТУ [14] указывается, что подвижность бетонной смеси по ГОСТ 10181-2014 [15] должна быть не менее 20 см. При приготовлении особо тяжелых бетонов требования к подвижности сохраняются, т. е. и в этом случае подвижность бетонной смеси должна составлять не менее 20 см.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В связи с этим возникают следующие вопросы:

- 1) как будет вести себя тяжелый дисперсный заполнитель в вы-



Рис. 2. Воздушный карман в бетонном покрытии ОТ с наружным диаметром 1219 мм

Fig. 2. Air pocket in the concrete weight coated pipe with an outer diameter of 1219 mm

сокоподвижной бетонной смеси, закачиваемой под давлением, т. е. распределяется ли дисперсная фаза равномерно по сечению и длине БП;

2) каковы могут быть последствия неравномерного распределения массы БП?

Корректное численное моделирование процесса заполнения межтрубного пространства высокоподвижной бетонной смесью с учетом гидравлических эффектов, связанных с «обходом» препятствий в виде арматурного каркаса и распорных элементов, а также с учетом особенностей конкретной реологической модели бетонной смеси представляет собой чрезвычайно сложную задачу как с вычислительной точки зрения, так и с точки зрения интерпретации полученных результатов. Поэтому известный практический интерес представляет анализ особенностей распределения тяжелой дисперсной фазы в бетонной смеси с качественных позиций.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЯЖЕЛОЙ ДИСПЕРСНОЙ ФАЗЫ

Как говорилось выше, сплошное заполнение внутреннего пространства металлополимерной оболочки с арматурным каркасом и распорными элементами возможно только в случае высокоподвижных бетонных смесей (при условии соблюдения всех прочих требований, предъявляемых к бетону БП). Если требуется, чтобы бетон БП обладал плотностью около 3400 кг/м^3 , то приходится использовать тяжелую дисперсную фазу, основываясь на том, что тяжелая дисперсная фаза в высокоподвижной бетонной смеси будет оседать быстрее, чем смесь затвердеет, локализуясь при этом в окрестности нижней образующей металлополимерной оболочки с той стороны трубы, с которой подается бетонная смесь.

Неравномерность распределения тяжелой дисперсной фазы по сечению наиболее заметно будет проявляться на больших диаме-

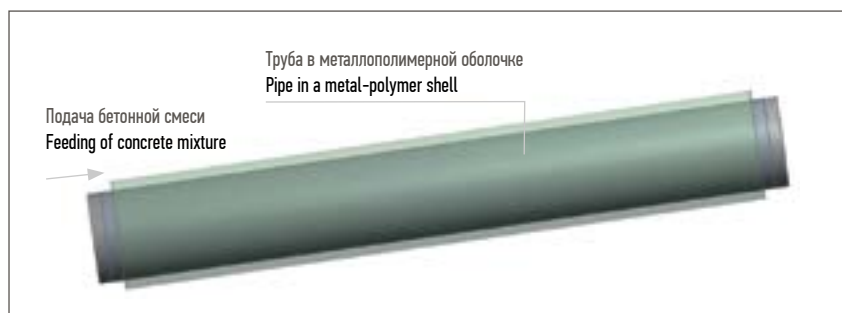


Рис. 3. Положение трубы при изготовлении бетонного покрытия методом закачки бетонной смеси под давлением согласно патенту № 2257503 [7]

Fig. 3. Position of the pipe at the manufacture of a concrete coating by injection of a concrete mixture under pressure according to the patent No. 2257503 [7]

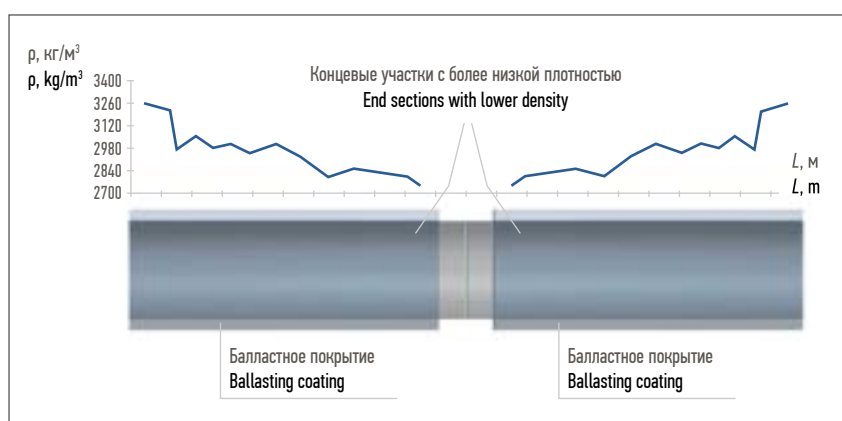


Рис. 4. ОТ, приваренные друг к другу сторонами с более низкой плотностью:

красными линиями обозначены эпюры распределения плотности по длине БП, L
Fig. 4. Concrete weight coated pipes welded to each other by sides with lower density: the red lines denote the diagrams of the density distribution along the length of the ballast coating, L

трах труб и больших толщинах БП, что может привести к смещению центра тяжести сечения.

Гораздо более серьезные последствия имеет неравномерность распределения твердой дисперсной фазы по длине БП.

Трудности, связанные с равномерностью распределения дисперсной фазы по длине балласта, станут понятнее, если учесть положение трубы при заполнении внутреннего пространства оболочки (труба располагается под углом к горизонту $5-8^\circ$, рис. 3). Это обстоятельство может привести к появлению существенной разницы в весе на концах ОТ.

Теперь рассмотрим ситуацию, когда трубы, приваренные друг к другу сторонами с более низким удельным весом (рис. 4), лежат на выпуклом участке.

Даже если допустить, что толщина бетонного покрытия и плотность бетона определены таким образом, чтобы обеспечить требуемую отрицательную плавучесть, то все равно возможна ситуация, когда усилие упругого отпора грунта, усилие выталкивающей силы воды и сжимающие усилия на концах некоторого участка подводного трубопровода, включающего рассматриваемый участок, превысят приведенное усилие, стремящееся сохранить положение равновесия трубопровода. Это в результате приведет к потере устойчивости участка против всплытия.

Участок трубопровода с удельным весом более низким, чем по расчету, как следствие, с более низким коэффициентом отрицательной плавучести при всех прочих равных условиях склонен

к потере устойчивости против всплытия. Фильтрационные процессы в грунте, а также волновые поверхностные процессы могут ускорить процесс потери устойчивости трубопровода с вовлечением новых участков.

Рассмотренный сценарий потери устойчивости трубопровода против всплытия по причине неравномерного распределения тяжелой дисперсной фазы по длине БП может показаться искусственным. Если заметить, что для инициализации процесса потери устойчивости конструкции, в частности подводного участка трубопровода, достаточно небольшого возмущения в виде, к примеру, геометрического несовершенства или, как в рассматриваемом случае, «несовершенства» распределения веса обетонированного трубопровода, то станет понятно, что эта схема может реализоваться даже при, казалось бы, тривиальных обстоятельствах.

Действительно, трубопровод, лежащий на выпуклом участке, уже находится в очень уязвимом положении, в том смысле, что если по каким-то причинам мероприятия по компенсации перемещений трубопровода (обычно протяженные участки трубопровода располагают по схеме «змейка») предусмотрены не в полном объеме, то вероятность потери устойчивости именно выпуклого участка будет значительно выше, чем та же вероятность, но на прямолинейном участке.

Потенциальную опасность неравномерного распределения плотности бетонной смеси (с тяжелой дисперсной фазой) по длине БП, изготовленного методом закачки под давлением, приходится рассматривать как трудноустраняемый «артефакт» технологии. Кроме того, осложняет ситуацию и сама металлополимерная оболочка, препятствующая прямому контролю качества бетона (рис. 5).

Единственным известным на сегодня методом контроля качества



Рис. 5. ОТ с оголенной арматурой после года эксплуатации (металлополимерная оболочка демонтирована)

Fig. 5. Concrete weight coated pipe with bared reinforcement after one year of operation (the metal-polymer shell is dismantled)

бетона под металлополимерной оболочкой является метод простукивания (см. [14]).

Идея этого метода заключается в том, чтобы проверку сплошности БП производить простукиванием оболочки трубы битой из твердых пород дерева по верхней образующей изделия. Шаг простукивания принимается не более 10 см. Тональность звука при этом должна быть одинаковой, т. е. такой же, как и при контрольном простукивании боковой и нижней образующей. Зона несплошности бетона определяется по изменению тональности звука.

Что касается звуковой тональности, то остается много вопросов относительно того, какое изменение тональности следует считать значимым для того, чтобы обратить на область, издающую более высокий звук, пристальное внимание. Добавим, что в нормативных документах РФ, имеющих отношение к контролю качества бетона, отсутствует указанный метод.

Кроме того, не до конца понятно, как при приемосдаточных испытаниях, которые могут проходить в полевых условиях, сопровождающихся высоким шумовым загрязнением, обеспечить достоверность выявления зон несплошности.

При изготовлении БП методом набрызга или набивки, как уже упоминалось, бетонная смесь наносится послойно с кинематическим уплотнением и возможностью контроля равномерности распределения тяжелой дисперсной фазы, что дает более надежные оценки запаса по устойчивости участков магистрального трубопровода из ОТ, изготовленных по указанным технологиям.

Напомним, что различают защитные и БП ОТ. В случае защитных покрытий, как правило, не требуется высокая плотность бетона. Тогда, если речь идет о бетонах плотностью не более 2500 кг/м³, технология изготовления бетонных покрытий методом закачки под давлением, бесспорно, является надежной и эффективной, способной составить серьезную конкуренцию классическим методам. Однако и в этом случае остается неразрешенным вопрос, связанный с контролем качества бетонного покрытия объективными методами контроля.

В случае же БП, т. е. покрытий, к прочности и плотности которых предъявляют особые требования, преимущество остается на стороне технологии набрызга и набивки как обеспечивающих более надежные показатели устойчивости трубопровода против всплытия.

Еще одним тонким вопросом, на который следует обратить особое внимание, является метод контроля плотности бетона покрытия ОТ.

Плотность бетона определяется по ГОСТ 12730.1–78 [16] с учетом общих требований по ГОСТ 12730.0–78 [17]. Испытания проводятся на образцах-кернях. По результатам испытаний вычисляется выборочное среднее значение плотности.

На рис. 6 приведены результаты испытаний образцов, отобранных из труб с БП в металлополимерной защитной оболочке для подводных трубопроводных систем производства ОАО «МТЗК», проведенных специалистами ОАО «НИЦ «Строительство» (испытания проводились на трех трубах).

Как видно из рис. 6, плотность может иметь существенный разброс, и поэтому лишь одного выборочного среднего значения недостаточно для корректной оценки качества бетонного покрытия.

Представляется разумной следующая рекомендация: включить в соответствующие нормативные документы требование, согласно которому при обработке результатов испытаний образцов-керней на плотность учитывать не только выборочное среднее значение плотности образца, но также и коэффициент вариации, отражающий разброс значений плотности относительно среднего.

ВЫВОДЫ

При изготовлении БП из особо тяжелых бетонов методом закачки бетонной смеси под давлением опасения вызывает возможность неравномерного распределения тяжелой дисперсной фазы по сечению и длине БП, что может стать начальным возмущением процесса потери устойчивости наиболее уязвимого участка подводного перехода.

Метод простукивания как способ оценки качества бетонного

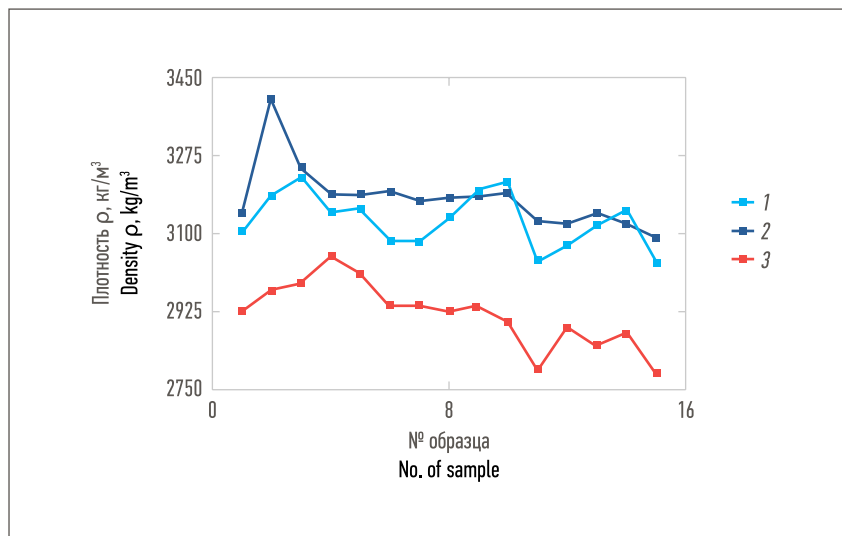


Рис. 6. Результаты испытаний образцов-керней, отобранных из труб с БП в металлополимерной защитной оболочке для подводных трубопроводных систем, на плотность (в состоянии естественной влажности): 1 – труба № 218072.2; 2 – труба № 223752.8; 3 – труба № 218681.4

Fig. 6. Results of tests of core samples, taken from pipes with ballast coating in the metallopolymer protective coating for underwater pipeline systems, on the density (in the state of natural humidity): 1 – pipe No. 218072.2; 2 – pipe No. 223752.8; 3 – pipe No. 218681.4

покрытия не может считаться однозначным, информативным и полным и несет в себе потенциальную угрозу пропуска различных дефектов сплошности БП.

Металлополимерная оболочка препятствует прямому контролю качества бетонного покрытия и не может рассматриваться как дополнительный слой защиты. Практически любых значений физико-механических характеристик бетона можно добиться с помощью грамотных манипуляций с различного рода добавками, поэтому нет никакой необходимости использовать еще и металлополимерный слой.

В тех случаях, когда надежность и безопасность подводного перехода имеет первостепенное значение и расчеты по балластировке указывают, что плотность бетонного покрытия трубопровода должна иметь порядок 3400 кг/м^3 , предпочтение должно отдаваться «классическим» способам изготовления ОТ (набрызг, набивка).

Во всех прочих случаях, в частности когда требуемая плотность не превышает 2500 кг/м^3 , выбор

может быть сделан в пользу любого из существующих методов изготовления ОТ (набрызг, набивка, с помощью скользящей опалубки, закачка под давлением).

При нанесении бетонного покрытия методом закачки бетонной смеси под давлением после набора бетоном требуемой прочности следует освобождать ОТ от металлополимерной оболочки в целях проведения объективного контроля качества бетона. В противном случае вопрос об отсутствии дефектов бетона остается открытым.

Предлагается синхронизировать ГОСТ Р 54382–2011 [1] и СТО Газпром 2–2.2–334–2013 [4] в части допустимых технологий нанесения бетонного покрытия и либо включить технологию закачки бетонной смеси под давлением в ГОСТ Р 54382–2011 [1] при следующей актуализации документа, либо расширить перечень технологий нанесения бетонного покрытия в СТО Газпром 2–2.2–334–2013 [4] (при актуализации документа), включив технологии набрызга, набивки и с помощью скользящей опалубки. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ Р 54382–2011. Нефтяная и газовая промышленность. Подводные трубопроводные системы. Общие технические требования [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200086533> (дата обращения: 14.03.2018).
2. DNV-OS-F101 October 2007. Submarine Pipeline Systems [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://standards.globalspec.com/std/1154738/dnvgi-dnv-os-f101> (дата обращения: 14.03.2018).
3. СТО Газпром 2-3.7-050–2006. Документы нормативные для проектирования, строительства и эксплуатации объектов ОАО «Газпром». Морской стандарт DNV-OS-F101. Подводные трубопроводные системы [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/437188671> (дата обращения: 14.03.2018).
4. СТО Газпром 2-2.2-334–2013. Документы нормативные для проектирования, строительства и эксплуатации объектов ОАО «Газпром». Строительство и ремонт магистральных газопроводов на подводных переходах, в обводненной и заболоченной местности, с применением обетонированных труб. М.: ООО «Газпром экспо», 2014. 52 с.
5. US 3267969. Reinforced Weighted Pipe. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://pdfpiw.uspto.gov/piw?Docid=3267969&idkey=NONE&homeurl=http%3A%252F%252Fpatft.uspto.gov%252Fmetahtml%252FP0%252Fpating.htm> (дата обращения: 14.03.2018).
6. DNV-OS-F101 August 2012. Submarine Pipeline Systems [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://standards.globalspec.com/std/1543541/dnvgi-dnv-os-f101> (дата обращения: 14.03.2018).
7. Патент № 2257503 РФ. Способ нанесения балластного покрытия на поверхность трубы для подводного трубопровода / А.П. Свечкопалов. Заявл. 22.10.2003, опублик. 27.07.2005 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.freepatent.ru/images/patents/211/2257503/patent-2257503.pdf> (дата обращения: 14.03.2018).
8. ГОСТ 25192–2012. Бетоны. Классификация и общие технические требования. М.: Стандартиформ, 2013. 7 с.
9. Патент № 2455553 РФ. Балластный материал повышенной плотности для подводных магистральных трубопроводов / А.П. Свечкопалов, И.И. Шапорин. Заявл.: 18.01.2011, опублик.: 10.07.2012 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.freepatent.ru/images/patents/4/2455553/patent-2455553.pdf> (дата обращения: 14.03.2018).
10. ГОСТ 7473–2010. Смеси бетонные. Технические условия. М.: Стандартиформ, 2011. 16 с.
11. Комаринский М.В., Смирнов С.И., Бурцева Д.Е. Литые и самоуплотняющиеся бетонные смеси // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. № 11 (38). С. 112–124.
12. Ватин Н.И., Барабаншиков Ю.Г., Комаринский М.В., Смирнов С.И. Модификация литой бетонной смеси воздухововлекающей добавкой // Инженерно-строительный журнал. 2015. № 4 (56). С. 3–10.
13. Комаринский М.В. Возведение железобетонных гидротехнических сооружений с применением бетононасосной технологии: дис. ... канд. техн. наук. Л.: Ленинградский политехнический институт им. М.И. Калинина, 1989. 183 с.
14. ТУ 5860–120 «ЗУБ»–81417928–2014. Трубы и соединительные детали трубопроводов с наружным защитным утяжеляющим бетонным покрытием «ЗУБ» в металлополимерной оболочке, в том числе с протекторами и системами мониторинга [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://bt-svap.ru/teh_info/ (дата обращения: 14.03.2018).
15. ГОСТ 10181–2014. Смеси бетонные. Методы испытаний [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200115733> (дата обращения: 14.03.2018).
16. ГОСТ 12730.1–78. Бетоны. Методы определения плотности [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/901703627> (дата обращения: 14.03.2018).
17. ГОСТ 12730.0–78. Бетоны. Общие требования к методам определения плотности, влажности, водопоглощения, пористости и водонепроницаемости [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/9056029/> (дата обращения: 14.03.2018).

REFERENCES

1. State Standard GOST R 54382–2011. Oil and Gas Industry. Submarine Pipeline Systems. General Requirements [Electronic source]. Access mode: <http://docs.cntd.ru/document/1200086533> (access date: March 14, 2018). (In Russian)
2. DNV-OS-F101 October 2007. Submarine Pipeline Systems [Electronic source]. Access mode: <https://standards.globalspec.com/std/1154738/dnvgi-dnv-os-f101> (access date: March 14, 2018). (In Russian)
3. Company Standard STO Gazprom 2-3.7-050–2006. Normative Documents for the Design, Construction and Operation of Gazprom PJSC. Offshore Standard DNV-OS-F101. Submarine Pipeline Systems [Electronic source]. Access mode: <http://docs.cntd.ru/document/437188671> (Access date: March 14, 2018). (In Russian)
4. Company Standard STO Gazprom 2-2.2-334–2013. Normative Documents for Design, Construction and Operation of Gazprom PJSC. Construction and Repair of Main Pipelines on Underwater Crossings, in Watered and Marshy Areas, Using Pipes with Weight Coating. Moscow, Gazprom expo LLC, 2014, 52 p. (In Russian)
5. US 3267969. Reinforced Weighted Pipe [Electronic source]. Access mode: <http://pdfpiw.uspto.gov/piw?Docid=3267969&idkey=NONE&homeurl=http%3A%252F%252Fpatft.uspto.gov%252Fmetahtml%252FP0%252Fpating.htm> (access date: March 14, 2018).
6. DNV-OS-F101 August 2012. Submarine Pipeline Systems [Electronic source]. Access mode: <https://standards.globalspec.com/std/1543541/dnvgi-dnv-os-f101> (access date: March 14, 2018).
7. Patent No. 2257503 RF. Method of Applying Ballast Coating on Surface of Underwater Pipe. A.P. Svechkopalov. Applied on October 22, 2003, published on July 27, 2005 [Electronic source]. Access mode: <http://www.freepatent.ru/images/patents/211/2257503/patent-2257503.pdf> (access date: March 14, 2018). (In Russian)
8. State Standard GOST 25192–2012. Concretes. Classification and General Technical Requirements. Moscow, Standardinform, 2013, 7 p. (In Russian)
9. Patent No. 2455553 RF. Ballast Material of Higher Density for Underwater Manifold Pipelines. A.P. Svechkopalov, I.I. Shaporin. Applied on January 18, 2011, published on July 10, 2012 [Electronic source]. Access mode: <http://www.freepatent.ru/images/patents/4/2455553/patent-2455553.pdf> (access date: March 14, 2018). (In Russian)
10. State Standard GOST 7473–2010. Fresh Concrete. Specifications. Moscow, Standardinform, 2011. 16 p. (In Russian)
11. Komarinsky M.V., Smirnov S.I., Burtseva D.E. Liquid Concrete and Self-Compacting Concrete. Stroitelstvo unikalnykh zdaniy i sooruzheniy = Construction of Unique Buildings and Structures, 2015, No. 11 (38), P. 112–124. (In Russian)
12. Vatin N.I., Barabanshchikov Yu.G., Komarinsky M.V., Smirnov S.I. Modification of the Cast Concrete Mixture with Air-Entraining Agents. Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal = Magazine of Civil Engineering, 2015, No. 4 (56), P. 3–10. (In Russian)
13. Komarinsky M.V. Construction of Reinforced Concrete Hydraulic Structures Using Concrete Pump Technology. Candidate of Science (Engineering) Dissertation. Leningrad, Kalinin Leningrad Polytechnic Institute, 1989, 183 p. (In Russian)
14. Specifications TU 5860–120 «ZUB»–81417928–2014. Pipes and Blanks Pipelines with External Protective Weight-Bearing Concrete Coating «ZUB» in a Metal-Polymer Shell, Including with Protectors and Monitoring Systems [Electronic source]. Access mode: http://bt-svap.ru/teh_info/ (access date: March 14, 2018). (In Russian)
15. State Standard GOST 10181–2014. Concrete Mixtures. Methods of Testing [Electronic source]. Access mode: <http://docs.cntd.ru/document/1200115733> (access date: March 14, 2018). (In Russian)
16. State Standard GOST 12730.1–78. Concretes. Methods of Determination of Density [Electronic source]. Access mode: <http://docs.cntd.ru/document/901703627> (access date: March 14, 2018). (In Russian)
17. State Standard GOST 12730.0–78. Concretes. General Requirements for Methods of Determination of Density, Moisture Content, Water Absorptions Porosity and Watertightness [Electronic source]. Access mode: <http://docs.cntd.ru/document/9056029/> (access date: March 14, 2018). (In Russian)