

## Утяжеляющие покрытия труб из высокопрочных мелкозернистых бетонов

*В.А. Перфилов, В.А. Демин*

*Волгоградский Государственный технический университет, Волгоград*

**Аннотация:** В данной работе рассмотрен анализ технических решений в технологии изготовления обетонированных труб. При сооружении подводных переходов наиболее надежным и эффективным способом балластировки является способ, предполагающий использование труб со сплошным бетонным покрытием. Бетонные покрытия, в числе прочего, обеспечивают защиту магистрального трубопровода от механических повреждений, а также от воздействия агрессивной среды. Предложены составы мелкозернистого бетона для бетонирования поверхности стальных труб с использованием неутилизованных отходов сталепроволочно-канатного или трубного производств. Установлено, что применение указанных отходов в определенных дозировках способствует увеличению прочности бетона, высокой морозостойкости при сокращении количества дорогостоящих тяжелых заполнителей.

**Ключевые слова:** утяжеляющие покрытия труб, отходы производства, мелкозернистый бетон, прочность, морозостойкость.

Для подводной прокладки нефте- и газопроводов применяются стальные трубы различных диаметров с нанесением на их поверхность утяжеляющего бетонного покрытия с целью предотвращения всплытия трубопровода при эксплуатационной прокачке продукта [1-3]. Одно из предприятий по нанесению бетонного покрытия на трубопроводы построено в городе Волжский, Волгоградской области. Здесь также находится трубный завод, являющийся поставщиком стальных труб для обетонирования. Доставка готовых утяжеленных труб на морское месторождение будет осуществляться по реке Волге.

### **Характеристика покрытия трубы**

Покрытие трубы состоит из следующих слоев:

- один направляемый эпоксидный слой, толщина которого должна составлять минимум 0,150мм;
- один слой адгезива, толщина должна составлять минимум 0,200мм;
- один слой полиэтилена повышенной плотности с добавками;

- один слой ПЭ-порошка (обработка для придания шероховатости покрытия, минимальный размер части 0.5мм);

Трубы *размером* Ø 813x39 мм производятся из стали SAWL 450 в соответствии с международными стандартами API, DIN EN, ASTM, российскими стандартами и техническими условиями. Объем бетонного покрытия на 1 трубу – 1,76 м<sup>3</sup>, толщина бетонного слоя - 53 мм, плотность бетона - 3040 кг/м<sup>3</sup>.

### **Приготовление и укладка бетонной смеси**

Производство бетонной смеси осуществляется в бетоносмесительном цехе Donmix150 с производительностью 150 м<sup>3</sup>/час.

Инертные материалы подаются в два приемных бункера, откуда через вибросито ленточными конвейерами поступают в 4-х секционный бункер инертных материалов с конвейером – дозатором. Оттуда они подаются на ленточный конвейер для загрузки в смеситель. Портландцемент и вода через дозатор подаются в двухвалковый смеситель. Приготовленная бетонная смесь выгружается на ленточный конвейер для последующей подачи в специальный бункер, из которого производится нанесение набрызгом бетонного покрытия небольшими слоями.

Подача трубы к месту обетонирования осуществляется при помощи тележки. Рама узла набрызга установки обетонирования регулируется по высоте. Осуществляется выставление узла набрызга. Производится подача трубы к месту обетонирования. Труба, вращаясь, движется через зону обетонирования, где происходит смачивание поверхности трубы водой и подача синтетического шпагата, с первоначальным его закреплением за каркас, для удержания свежего бетона на трубе. Натяжение шпагата регулируется тормозными устройствами катушек шпагата, глубина залегания нитей в защитном балластном покрытии – положением направляющего нити ролика. Одновременно с этим, в промежуток между двумя вращающимися

---

роликами набрызга подается бетонная смесь и происходит нанесение покрытия на трубу.

Перед нанесением бетонного покрытия трубы помещают на гидравлические весы при помощи 20-го двухбалочного мостового крана. Далее из питательного бункера смесь подается на подающий конвейер, откуда она поступает на разгоняющий конвейер, а он подает на валки с частотой вращения 2000 об. / мин. для нанесения балластного покрытия на трубу. Так как труба вращается и перемещается одновременно, то покрытие ложится слоями, набирая требуемую толщину. В это же время начинает работать скрепер, который, опускаясь, выравнивает поверхность бетонного покрытия, а весь излишек бетонной смеси со скрепера падает на возвратный конвейер для последующего применения. Бетонная смесь, которая «отскочила» от трубы, попадает на конвейер для возврата бетонной смеси в бункер-накопитель рекуперата.

Управляющая система – автоматическая, с возможностью ручного управления. Автоматическое управление может осуществляться при помощи микропроцессора или компьютера. Процесс обетонирования трубы длится 6 минут. Торцевые зоны трубы не бетонируются, так как необходимо оставить место для последующей сварки стыков трубопровода на месте морской укладки с помощью трубоукладочной баржи.

Установка рассчитана на трубы диаметром от 406–1420 мм, длина труб от 8 до 12 метров, максимальный вес трубы 30 000 кг, производительность - не более 1000 м<sup>2</sup>/час.

### **Применение высокопрочного мелкозернистого бетона**

Исходные данные:

Плотность смеси проектная  $\rho_b^1 = 3040$  (кг/м<sup>3</sup>)

Класс бетона В35;

Марка бетона М450;

Подвижность бетонной смеси  $J = 20$  сек.

Выбор материалов:

Портландцемент: для бетона класса В35 по СНиП 5.01.23

рекомендуемая допустимая марка цемента М500, нормальная густота цементного теста – 27 %;  $\rho_{ц}^н = 1,2 \text{ г/см}^3$ ,  $\rho_{ц}^{ист} = 3,15 \text{ г/см}^3$ .

Максимальный размер крупности частиц заполнителя следует назначать, с учетом технических характеристик используемого оборудования.

При изготовлении мелкозернистых бетонов в качестве заполнителей нашли широкое применение промышленные отходы [4-6]. Предлагается в качестве тяжелых заполнителей совместно с габбро-диабазом применять отходы производства сталепроволочно-канатного или трубного заводов в соотношении 1:1. Применение указанных отходов способствует их утилизации и улучшению экологической обстановки в регионе.

Так как у нас уникальное сооружение, для него отсутствует нормативный документ для расчета подбора набрызга смеси. Поэтому принимаем водоцементное отношение В/Ц=0,35.

Отходы сталепроволочно-канатного производства содержат, масс. %:  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 69,9 %,  $\text{CaO}$  – 11,2 %,  $\text{Cl}$  – 10,86 %,  $\text{SiO}_2$  – 3,89 %,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 1,02 % и другие – 3,13 %.

Сернокислый шлак является отходом производства стальных труб, образующийся в процессе обработки труб серной кислотой и известняком. Химический состав отхода представлен следующими компонентами:  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – (10-15) %;  $\text{MgO}$  – (3-5) %;  $\text{SiO}_2$  – (7,0-7,3) %;  $\text{CaSO}_4$  – (25-30) %;  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  – 1%;  $\text{CaF}_2$  – (25-30) % и другие.

Содержание в обоих отходах оксидов железа, кремния и других компонентов в смеси с портландцементом способствует получению

высокопрочных составов бетонов повышенной плотности, что является необходимым условием утяжеляющего покрытия стальных труб.

Перед применением указанных отходов производства необходимо произвести их незначительную подготовку, включающую очистку от хлористых и кальциевых соединений, а также повышением содержания оксидов железа.

Учитывая высокую жесткость бетонной смеси для ее лучшей адгезии и удобоукладываемости, а также коррозионностойкости [7], использовали суперпластификатор СП-4, который предварительно растворяли в воде затворения с помощью ультразвукового диспергатора с частотой 26 кГц.

#### **Технология приготовления бетонной смеси.**

Заранее взвешенный порошковый суперпластификатор СП-4 в количестве 0,45 % от массы цемента вводили в воду затворения и подвергали ультразвуковому перемешиванию в течение 5 минут. Параллельно перемешивали сухие компоненты цемента и заполнителей в двухвалковом смесителе в течение 5-7 минут. По окончании отдельного перемешивания объединяют полученные субстанции в указанном смесителе и доводят до однородного состояния и необходимой жесткости смеси.

Для определения прочностных и других характеристик затвердевшего мелкозернистого бетона [8-10] изготавливали образцы стандартных размеров 10×10×10 см, которые подвергались тепловлажностной обработке по заводскому режиму: 3 часа - подъем температуры до 70<sup>0</sup>С, 8 часов – изотермический прогрев, 2 часа – снижение температуры до 40<sup>0</sup>С.

По окончании твердения были проведены испытания образцов на прочность и морозостойкость.

В результате испытаний установлено, что прочность образцов на сжатие находилась в пределах 58,5 – 64,3 МПа. Марка по морозостойкости,

определяемая количеством циклов попеременного замораживания и оттаивания составила 350-400 циклов.

### **Выводы**

Таким образом, содержание оксидов железа в промышленных отходах сталепроволочно-канатного и трубного производств, а также других компонентов способствует, при определенных дозировках, сохранению и даже увеличению прочности мелкозернистых бетонов, применяемых в достаточно сложных морских условиях при прокладке подводных трубопроводов. Применение неутилизованных и дешевых отходов производства способствует снижению затрат на использование дорогостоящих тяжелых заполнителей из габбро-диабазы и других.

### **Литература**

1. Перфилов В.А., Зубова М.О., Неизвестный Д.Л., Лукина И.Г., Орешкин Д.В., Чеботаев А.Н. Балластировка подводных трубопроводов с применением базальтовой фибры и бурового шлама // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. - 2012. - № 11. - С. 40-41.
2. Проскурин Е. А. Защитные покрытия. Качество и долговечность труб// Национальная металлургия, 2003 – С. 69-78.
3. Johnson E. R. Permafrost-related performance of the Trans-Alaska oil pipeline // Proc., 9th Int. Conf. on Permafrost. Fairbanks, AK, USA. – 2008. – P. 868.
4. Дворкин Л.И., Дворкин О.Л. Строительные материалы из отходов промышленности. Ростов н/Д: Феникс, 2007. 368 с.
5. Богдасаров А.С., Нестеренко А.И. Использование отходов промышленности для производства шлако-известково-гипсового вяжущего //



Инженерный вестник Дона, 2020, №3. URL:  
ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2020/6374.

6. Каряев С.Б. Использование промышленных отходов в производстве бетона // Научно-практическая конференция «Перспективы развития научных систем в глобальном мире». Саратов, ЦМП «Академия Бизнеса», 2019. Сс. 50-52.

7. Саидов Д.Х., Умаров У.Х. Влияние минерально-химических добавок на коррозионностойкость цементных бетонов с применением промышленных отходов // Инженерный вестник Дона. 2013. №2. URL:  
ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1634.

8. Перфилов В.А., Габова В.В., Лукьяница С.В. Бетон для строительства подводных нефтегазовых сооружений // Инженерный вестник Дона. - 2020. - № 11. - 8 с. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2020/6673.

9. Сахибгареев Р.Р. Физико-химические аспекты применения модифицированных бетонов. // Строительные материалы, 2007 - № 7. –с.72-73.

10. Gartner E.M., Macphee D.E. A physico-chemical basis for novel cementitious binders //Cement and Concrete Research. 2011. Т. 41, № 7. pp.736-749. DOI: 10.1016/j.cemconres.2011.03.006.

### References

1. Perfilov V.A., Zubova M.O., Neizvestnyy D.L., Lukina I.G., Oreshkin D.V., Chebotayev A.N. Stroitel'stvo neftyanykh i gazovykh skvazhin na sushe i na more. 2012. № 11. pp. 40-41.

2. Proskurin E. A. Natsional'naya metallurgiya, 2003. pp. 69-78.

3. Johnson E. R. Proc., 9th Int. Conf. on Permafrost. Fairbanks, AK, USA. 2008. P. 868.



4. Dvorkin L.I., Dvorkin O.L. Stroitel'nye materialy iz otkhodov promyshlennosti. [Construction materials from industrial waste]. Rostov n/. D: Feniks, 2007. 368 p.
5. Bogdasarov A.S., Nesterenko A.I. Inzhenernyj vestnik Dona, 2020, №3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2020/6374](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2020/6374).
6. Karyayev S.B. Nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Perspektivy razvitiya nauchnykh sistem v global'nom mire». Saratov, TSMP «Akademiya Biznesa», 2019. pp. 50-52.
7. Saidov D.KH., Umarov U.KH. Inzhenernyj vestnik Dona. 2013. №2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1634](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1634).
8. Perfilov V.A., Gabova V.V., Luk'yanitsa S.V. Inzhenernyj vestnik Dona. 2020. № 11. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2020/6673](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n11y2020/6673).
9. Sakhibgareyev R.R. Stroitel'nye materialy, 2007. № 7. pp.72-73.
10. Gartner E.M., Macphee D.E. Cement and Concrete Research. 2011. T. 41, № 7. pp.736-749. DOI: 10.1016/j.cemconres.2011.03.006.