

*Костин Александр Андреевич,  
Магистрант  
Самарский Государственный Технический Университет  
Россия, г. Самара*

## **ОБЗОР МЕТОДИК РАСЧЕТА НАПРЯЖЕННО- ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МОРСКОГО ТРУБОПРОВОДА ПРИ УКЛАДКЕ S-МЕТОДОМ**

***Аннотация:** В статье рассматриваются существующие методики расчета напряженно-деформированного состояния морского трубопровода при укладке S-методом. Выявлены достоинства и недостатки каждой из методик. Сформулированы проблемы расчетов в настоящее время.*

***Ключевые слова:** морские трубопроводы, укладка морских трубопроводов, методики расчета укладки S-методом.*

***Abstract:** The article discusses the existing methods for calculating the stress-strain state of an offshore pipeline when laying by the S-method. The advantages and disadvantages of each method are revealed. Problems of calculations are formulated at the present time.*

***Keywords:** offshore pipelines, laying of offshore pipelines, S-method laying calculation methods.*

### **Введение**

S-метод укладки является одним из первых и самый популярный метод укладки морских трубопроводов. Изогнутый участок трубопровода, находящийся между точкой касания морского дна и натяжным устройством на трубоукладочном судне (ТУС), принимает форму S-образной кривой (рис. 1),

отчего метод и получил соответствующие название. Возможно укладывать в зависимости от условий строительства от 3 до 7 км/день (125-300 м/ч). Современные ТУС со стингером осуществляют укладку трубопровода диаметром до 1420мм на глубину моря до 300м и диаметром до 810мм на глубину до 700м[1].

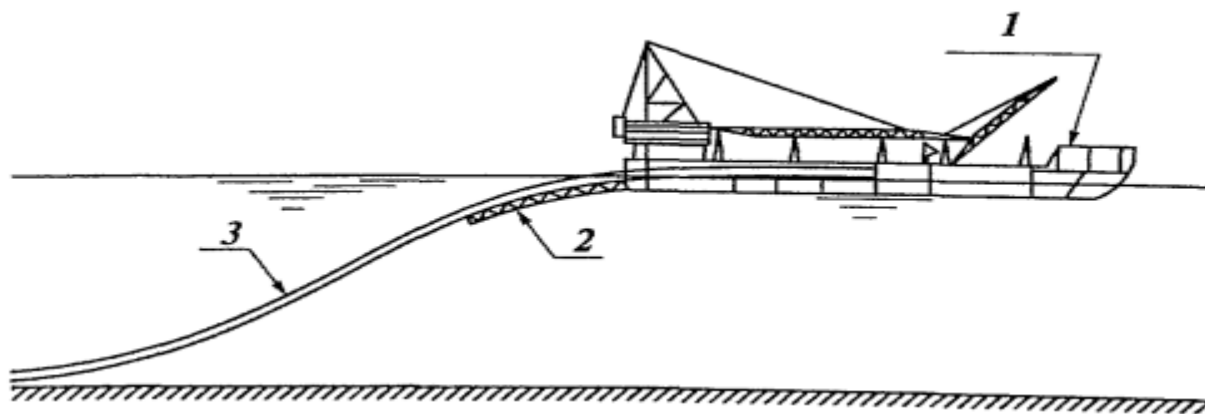


Рисунок 1. Укладка подводного трубопровода на дно моря S-методом  
(1 – трубоукладочное судно; 2 – стингер; 3 – трубопровод)

Достоинствами S-метода являются возможность сварки толстостенных труб, использование сварки на нескольких постах, отсутствие пластических деформаций и возможность укладки труб с бетонным покрытием. Главный недостаток метода – ограничение глубины укладки из-за требуемого удлинения размеров стингера для снижения напряжений в трубе и увеличении натяжения, которое нужно прикладывать к плети строящегося трубопровода для поддержания его безопасного напряженно-деформированного состояния. Кривизну и длину стингера, а также силу натяжения подбирают таким образом, чтобы напряжения в любой точке трубопровода не превосходили допустимые.

Научные основы в области проектирования, сооружения и эксплуатации подводных трубопроводов были заложены и получили развитие в работах широкого круга ученых. Среди них как отечественные ученые: В.Л. Березин, П.П. Бородавкин, И.А. Искандеров, М.А. Камышев, В.Ф.Кожин,

И.П. Кулиев, И.Л. Бошкова, К.Я. Капустин, Б.И. Ким, С.И. Левин, Ф.М. Мугаллимов, Н.Ф. Нефедова, С.А. Оруджев, О.Б. Шадрин, А.М. Шамазов, В.В. Харионовский, так и зарубежные исследователи: Yunum Douglas, G. Clauss, R.T. Igland, S. Kyriakides, C.D. Babcock, Lam Quang Chien, T. Moan, A.H. Mousseli, Reifel Michael D., Rapp Ira H., J.R. Wilkins и др[2].

### **Существующие методики расчета напряженно-деформированного состояния морского трубопровода при укладке S-методом**

Существующие методы расчёта укладки морских трубопроводов можно условно разделить на три категории[3].

Методы первой категории основаны на использовании уравнений балочного изгиба, учитывающих большие перемещения и углы поворота оси трубопровода при укладке. Однако, следует отметить, что класс задач, для которых может быть получено аналитическое решение, ограничен простейшими случаями геометрии и нагружения конструкции. На практике, при расчёте процесса укладки морских трубопроводов, особенно на большие глубины, требуется численно решать двухточечную задачу Коши в условиях высокой жесткости полученной системы дифференциальных уравнений, а также в условиях неединственности и неавтономности получаемого решения. Кроме того, этот метод решения неэффективен для учета особенностей деформирования трубопровода на роликовых опорах стингера и практически непригоден для учета механизма деформирования необетонированных участков трубопровода с бетонным утяжеляющим покрытием.

Методы расчёта укладки морских трубопроводов второй категории основаны на применении теории метода конечных элементов. Это направление представляется более перспективным по сравнению с первым методом расчёта в силу своей универсальности, вычислительной эффективности, возможности учета геометрической и физической

нелинейности задачи, а также наличия механизма решения контактных задач достаточно общего вида. Наиболее подходящими для моделирования данной задачи являются универсальные конечно-элементные пакеты ANSYS и ABAQUS, обладающие большой библиотекой конечных элементов и широкой возможностью расширения функциональных возможностей.

Методы расчёта укладки морских трубопроводов третьей категории основаны на применении узкоспециализированного программного обеспечения. К программным комплексам такого типа относятся, например, программы OFFPIPE и PipeLay, основанные на применении стержневых конечных элементов. Программы такого типа не могут быть модифицированы пользователем, ограниченно учитывают влияние бетонного покрытия (через коэффициент концентрации) и не пригодны для исследования влияния бетонного покрытия на НДС необетонированных участков трубопровода с бетонным утяжеляющим покрытием.

### **Особенности учета влияния бетонного утяжеляющего покрытия при расчёте укладки морских трубопроводов**

Анализ научных публикаций и нормативной литературы по данной тематике [4], [5], [6] показал, что в настоящий момент эта проблема недостаточно проработана. Среди значимых научных статей по рассматриваемой тематике отметим работы следующих исследователей: А.Б. Айнбиндер, Н.М. Гусейнов, Г.А. Мехтиев, G. L. Archer, J. Adams, H. T. Atken, S. Lund, D. M. Miller, R. Verley, O. B. Ness, G. Endal, N. Nourpanah, F. Taheri [3].

Бетонное покрытие оказывает следующее дополнительное влияние на НДС укладываемого морского трубопровода [7]:

– изменяет изгибную жесткость трубы и делает эту изгибную жесткость переменной по длине трубопровода;

– вызывает концентрацию деформаций на необетонированных участках трубы;

– изменяет расположение оси изгиба трубы;

– может изменять НДС необетонированных участков трубы в случае отслаивания покрытия при недостаточности адгезионных свойств.

### **Вывод**

Таким образом, проанализировав все существующие методики расчета напряженно-деформированного состояния морского трубопровода при укладке S-методом можно прийти к выводу, что в данный момент не существует идеального метода расчета. Каждый из подходов имеет свои недостатки и требует доработок.

Помимо этого, программные комплексы OFFPIPE и PipeLay являются зарубежными и более недоступны в Российской Федерации. Отсюда встает вопрос о создании подобных программных систем, учитывающих опыт и недостатки существующих расчетных программ.

### **Список литературы:**

1. Мовсумадзе Э.М., Мастобаев Б.Н., Мастобаев Ю.Б. Морская нефть. Развитие технических средств и технологий. СПб.: Недра, 2005. 236 с.

2. Ю.А. Горяинов, А.С. Федоров, Г.Г. Васильев. Морские трубопроводы. Недра, 2001 – 131с.

3. И.Ю. Морин, В.М. Ковех. Особенности расчёта напряженно - деформированного состояния морских обетонированных газопроводов, Сборник научных статей аспирантов и соискателей ООО «Газпром ВНИИГАЗ», стр. 50 – 54, 2011.

4. Васильев Г.Г., Горяинов Ю.А., Беспалов А.П. Сооружение морских трубопроводов: учеб. для вузов. М.: Изд-во РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2015. 200 с.

5. СТО Газпром 2–3.7–050-2006. Морской стандарт DNV-OS-F101 Подводные трубопроводные системы. М.: ИРЦ Газпром, 2006. 430 с

6. Рекомендации по проектированию и строительству морских подводных нефтегазопроводов. Р 412-81. М., ВНИИСТ, 1981.

7. Руководство по технологии укладки и заглубления трубопроводов через водохранилища и крупные реки. Р 537-84. М., ВНИИСТ, 1984.