

**РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
НЕФТИ И ГАЗА имени И. М. ГУБКИНА**

УДК 550 82 622 24

На правах рукописи

НГУЕН ВАН ШОН

**ОБОСНОВАНИЕ ТЕОРИИ И ТЕХНОЛОГИИ СТРОИТЕЛЬСТВА
ГЛУБОКОВОДНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ В УСЛОВИЯХ ШЕЛЬФА
ВЬЕТНАМА**

Специальность 25 00 18 - Технология освоения морских месторождений
полезных ископаемых (технические науки)

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук



Москва - 2007

Диссертация выполнена в Российском государственном университете нефти и газа им И М Губкина

Научный руководитель - доктор технических наук , профессор
Петр Петрович Бородавкин

Официальные оппоненты - доктор технических наук, профессор
Олег Борисович Шадрин
- кандидат технических наук
Владислав Валерьевич Бесхижко

Ведущая организация - ООО «Межрегионтрубопроводстрой»

Защита состоится «27» Июня 2007 г в 13 часов в аудитории 1817 на заседании диссертационного совета Д 212 200 11 в Российском государственном университете нефти и газа им И М Губкина по адресу. 119991, Москва, ГСП-1, Ленинский проспект, 65

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Российского государственного университета нефти и газа им И М Губкина

Автореферат разослан « 23 » Мая 2007 г

Ученый секретарь
диссертационного совета
д г н , доцент



И Е Литвин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. При освоении морских нефтяных и газовых месторождений возникает необходимость строить трубопроводы, причалы, подводные комплексы и различные платформы для бурения, добычи, сбора, подготовки и транспорта нефти и газа

На шельфе Вьетнама уже 30 лет эксплуатируются морские месторождения “Белый Тигр”, “Дракон”, “Большой Медведь”, “Черный Лев”, “Желтый Лев” и др. На этих месторождениях построены различные МНГС на глубинах 50 - 120 м. В ближайшее время будут введены в эксплуатацию морские месторождения “Лан Тау”, “Лан До”, “Хай Тхань”, “Бунга Кеква” и др. Это связано со строительством новых морских внутривидовых и магистральных трубопроводов, а также платформ. Кроме этого, различными зарубежными компаниями (в том числе Российскими) в тесном содружестве с Петровьетнамом выполняются поисково-разведочные работы в глубоководных районах.

Укладку морских трубопроводов на шельфе Вьетнама осуществляют различными способами:

- протаскивание трубопровода по дну моря,
- укладка погружением с поверхности моря,
- опускание трубопровода с опор,
- укладка трубопроводов с трубоукладочных барж без натяжения, с натяжением, со стингером и без него

В связи с освоением нефтегазовых месторождений, расположенных на больших глубинах, возникла необходимость в разработке способов, позволяющих вести укладку подводных трубопроводов на этих глубинах. В будущем на шельфе Вьетнама актуальной для освоения морских месторождений на больших глубинах станет проблема укладки морских трубопроводов в сложных метеорологических и гидрологических условиях.

Современные трубоукладочные суда, работающие по S-методу, способны укладывать трубопроводы на глубине до 700 м со скоростью 3-5 км в сутки. При этом с увеличением диаметра труб или глубины воды требуются все более мощные системы натяжения и крупногабаритные стингеры. На практике максимальное растягивающее усилие при укладке достигает 3000 кН. В свою очередь, увеличение радиуса кривизны и общей длины стингера усложняет управление и делает его более уязвимым к воздействию волн и течений. Поэтому для строительства глубоководных трубопроводов большого диаметра более приемлемым является так называемый J-метод.

Серьезной проблемой при укладке трубопровода так называемым J-методом является расчет напряженного состояния труб, при котором не происходит их излом или искривление.

При строительстве морских трубопроводов J-методом напряженно-деформированное состояние (НДС) придонного участка формируется совместным действием собственного веса трубопровода, гидравлического давления, изгибающего момента. Следует отметить, что методы расчета укладки трубопровода J-методом разработаны еще недостаточно.

В связи с этим особую важность и актуальность приобретает разработка методов расчета напряженно-деформированного состояния трубопровода при укладке J-методом, обеспечивающего управление процессом укладки трубопроводов в зависимости от глубины моря и скорости трубоукладочного судна.

Цель работы

Целью диссертационного исследования является разработка методов расчета напряженно-деформированного состояния трубопровода при укладке J-методом в случае вертикального опускания трубы, а также при любом угле наклона оси трубопровода по отношению к поверхности моря, расчета устойчивости стенки трубопровода и расчета на переменные воздействия волн, течений и судовой качки.

Для достижения этих целей поставлены и решены следующие задачи:

- обоснована технология строительства глубоководных трубопроводов, укладываемых J-методом с учетом природных воздействий (волн, течений, ветра, судовой качки),
- выполнен вероятностный расчет параметров волн,
- разработан метод расчета напряженного состояния трубопровода при укладке J-методом в случае вертикального опускания трубы,
- разработан метод расчета напряженного состояния трубопровода при укладке J-методом в случае любого угла наклона оси трубопровода,
- разработан метод расчета устойчивости стенки трубопровода при укладке J-методом,
- разработан метод расчета прочности стояков и трубопроводов, укладываемых J-методом на переменные воздействия волн, течений и судовой качки

Научная новизна диссертационной работы

Разработанный метод расчета напряженного состояния трубопровода при укладке J-методом в случае вертикального опускания трубы позволяет определить конфигурацию, изгибающие моменты, поперечные силы в различных сечениях трубопровода

Разработан метод расчета напряженного состояния трубопровода при укладке J-методом для любого угла наклона оси трубопровода. Это позволяет определить пространственное положение трубопровода, углы поворота сечений, а также изгибающие моменты, поперечные силы в различных сечениях трубопровода

Разработан метод расчета устойчивости стенки трубопровода при укладке J-методом на внешнее давление воды

Разработан метод расчета прочности стояков и трубопроводов, укладываемых J-методом на переменные воздействия волн, течения и судовой качки

Основные защищаемые положения

- Метод расчета напряженного состояния трубопровода при укладке J-методом в случае вертикального опускания трубы,

- Метод расчета напряженного состояния трубопровода при укладке J-методом в случае любого угла наклона оси трубопровода, который также позволяет определить конфигурацию и напряженно-деформированное состояние трубопровода,

- Метод расчета устойчивости стенки трубопровода при укладке J-методом,

- Метод расчета прочности трубопроводов укладываемых, J-методом на переменные воздействия волн, течений и судовой качки

Практическая ценность работы

1 Разработанные в диссертации методы расчета параметров трубопровода и технология укладки J-методом позволяют обеспечить безаварийную укладку трубопроводов на больших глубинах, а также контролировать и управлять процессом строительства трубопровода на этих глубинах

2 Материалы исследований используются в учебном процессе для обучения студентов по специальности “Морские нефтегазовые сооружения”

Апробация результатов работы

Основные положения и результаты диссертации докладывались на международной научно-технической конференции “Нефть, газ Арктики” в июне 2006 года и на 7-й научно-технической конференции «Актуальные проблемы состояния и развития нефтегазового комплекса России» в январе

2007 года Материалы диссертации используются в работах, выполняемых в корпорации “Петровьетнам”

Публикации

Автором опубликовано 3 статьи по теме диссертации в различных научно-технических журналах, в том числе и включенные в список ВАК для обязательной публикации

Структура и объем работы

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, основных выводов, принятых сокращений, списка использованных источников из 47 наименований. Содержание работы изложено на 121 страницах машинописного текста, содержит 63 рисунка и 13 таблиц

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность рассматриваемой проблемы, отражены цель работы, научная новизна, основные задачи и практическая значимость результатов исследований

В первой главе показано современное состояние освоения шельфа Вьетнама, представлены общие сведения о МНГС и перспективы их развития на шельфе Вьетнама

Приведен краткий обзор природно-климатических условий шельфа Вьетнама, сведения о глубинах Южно-Китайского моря, температуре, донных грунтах, ветровых режимах, отливах-приливах, течениях, волнах и тайфунах. В целом вся совокупность природно-климатических условий шельфа Вьетнама должна быть учтена при проектировании и строительстве МНГС

Приведен анализ аварий МНГС в мире и во Вьетнаме, состояние МНГС и их элементов под действием различных факторов: волн, течений, ветра, коррозии и др.

Анализ аварий показывает, что они происходят из-за коррозии, педения объектов (якорей, тралов, металлических панелей и т д), воздействия природных факторов и недостаточной расчетной обоснованности их воздействий на МНГС в процессе эксплуатации

Во второй главе приведена технология строительства глубоководных трубопроводов, укладываемых J-методом с учетом природных воздействий (судовой качки, ветра, течений, волн) Рассмотрены операции по доставке труб, сварке, покрытию и контролю качества труб, а так же перемещению трубокладочного судна (баржи)

Рассмотрены различные виды качки трубокладочного судна в процессе укладки трубопроводов Наибольшие напряжения в трубопроводе возникают при следующих видах качки баржи вертикальной, килевой и продольно-горизонтальной Остальные виды перемещения баржи бортовая качка, колебания вокруг вертикальной оси и в поперечно-горизонтальном направлении оказывают значительно меньшее влияние на напряженное состояние трубопровода и ими можно пренебречь

Положение судна по отношению к трубопроводу при различных видах колебаний и различных частотах возмущающей ситы имеет многообразные сочетания Ветровые нагрузки складываются из нагрузок, приходящихся на отдельные части и элементы МНГС Для каждой части МНГС ветровая нагрузка обусловлена воздействием потока воздуха при обтекании преграды

Ветровые нагрузки, действующие на МНГС, зависят от скорости ветра, его направления, аэродинамических параметров сооружений и их элементов

Течение является результатом приливных явлений, ветрового нагона и речного стока Чаще всего течения, которые учитываются в расчетах МНГС, связаны с ветровым нагоном Течения обычно предполагаются горизонтальными по направлению и изменяющимися с увеличением

глубины Течения вызывают размыв грунта под основанием МНГС, что приводит к колебанию и разрушению МНГС и их элементов

Исследованию взаимодействия волн с обтекаемыми гидротехническими сооружениями и их элементами посвящено большое количество работ как российских ученых (Д Д Лаппо, И Ш Хальфин, А М Ибрагимов, Г Ф Красножен, А М Жуковец, Г Н Смирнов, О Б Шадрин, Ю З Алешков, Б М Кукушкин), так и зарубежных (Дж Морисон, С Чакрабарти, К Бребна) и др

Различные методы расчета волнового давления на обтекаемые преграды различаются главным образом тем, что их авторами используются различные теории волн, дающие неодинаковые значения скорости и ускорения $v(z,t)$, $w(z,t)$, и, кроме того, у исследователей нет единого подхода к определению расчетных значений скоростных коэффициентов C_v и инерционных C_i . Это приводит к существенным различиям в их значениях

В расчетах применяют различные теории волн теорию волн малой амплитуды (по Эри), теорию волн конечной амплитуды (по Стоксу), теорию одиночных волн (по Буссинеску и Рэлею), теорию длинных периодических (кноидальных) волн (по Кортевегу и Де-Врису), которые дают различные значения скорости и ускорения волны

Наиболее полно вопросы волновых воздействий рассмотрели в работах Д Д Лаппо Воздействие волн на МНГС по Д Д Лаппо рассчитывается с учетом разделения акваторий зоны по глубинам моря Учитывая вероятностный характер параметров волн за определенный срок, можно определить их влияние на состояние МНГС при проектировании

В третьей главе приведены методы расчета напряженного состояния морских трубопроводов, укладываемых J-методом Эти методы являются основными исследовательским материалом, на котором сформированы основные рекомендации по укладке трубопроводов, подбору расстояния придонного участка для различных глубин моря, а также регулирования скорости укладки.

В данной работе исследуется напряженно-деформированное состояние (НДС) придонного участка. Важным вопросом при J-методе становится расчет напряженного состояния труб, при котором не происходит их излом или искривление. Особенность при укладке трубопровода J-методом заключается в возникновении наибольших моментов на участке подхода к дну и при угле поворота придонного участка, равном $\pi/2$.

При строительстве морских трубопроводов J-методом напряженно-деформированное состояние (НДС) придонного участка формируется совместным действием собственного веса трубопровода, гидростатического давления и изгибающего момента. В диссертации рассмотрен метод расчета НДС трубопровода при строительстве. Принято допущение о форме распределения всех сил в различных сечениях придонного участка трубопровода. Эти допущения не приводят к существенному изменению действительной картины напряженного состояния.

Рассмотрены НДС для различных этапов укладки:

Первый этап – опускание трубопровода на дно моря.

Максимальное растягивающее напряжение в точке В (рис 1)

$$\sigma_{\text{в}} = \frac{N_{\text{max}}}{F} = \frac{\rho H_{\text{гд}}}{F}, \quad (1)$$

где $H_{\text{гд}}$ – глубина погружения конца трубопровода, ρ – вес единицы длины трубопровода, F – площадь сечения трубопровода.

Вертикальное удлинение элемента $d\xi$ в произвольном поперечном сечении трубопровода

$$\delta(y) = \frac{\rho}{2EF} (2H_{\text{гд}} - y)y, \quad (2)$$

где E – модуль упругости материала трубы.

Наибольшее вертикальное перемещение трубопровода имеет место в точке при $y = H_{\text{гд}}$

$$\delta_{\text{max}} = \frac{\rho H_{\text{гд}}^2}{2EF} \quad (3)$$

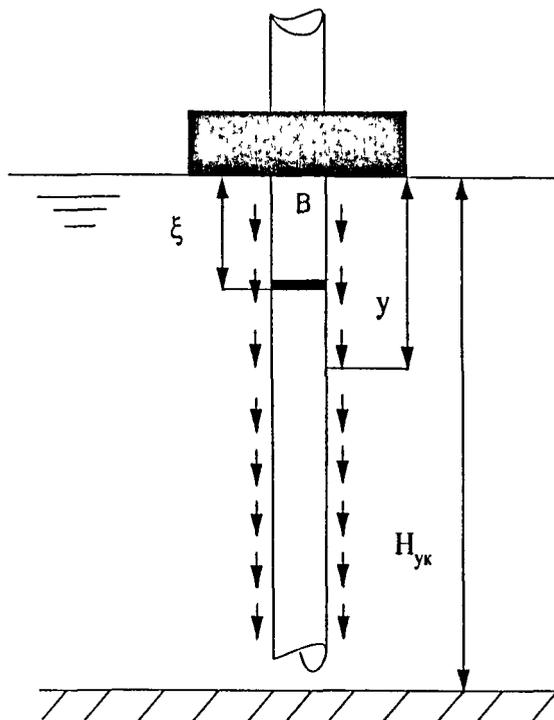


Рис 1 Расчетная схема трубопровода на первом этапе

Второй этап изгиб трубопровода при движении трубоукладочного судна

На рис 2 показана схема укладки трубопровода по J-методу. На участке H труба находится в вертикальном положении, на участке h образуется придонная кривая.

На рис 3 показана схема сил, действующих на придонную кривую. Нагрузка $q(x)$ (отрицательная плавучесть) зависит от формы кривой, уравнение которой неизвестно. Поэтому принято допущение о том, что отрицательная плавучесть распределена как показано на рис 4. Такое допущение не приводит к существенной погрешности, но упрощает решение задачи.

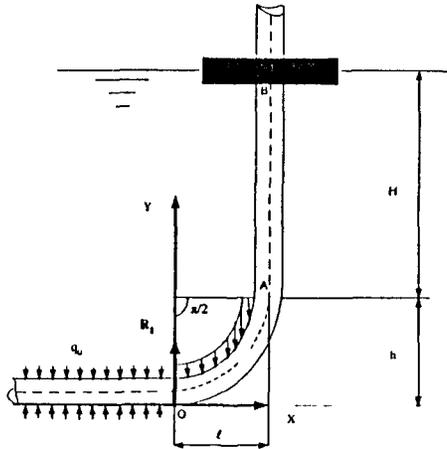


Рис 2 Расчетная схема укладки трубопровода

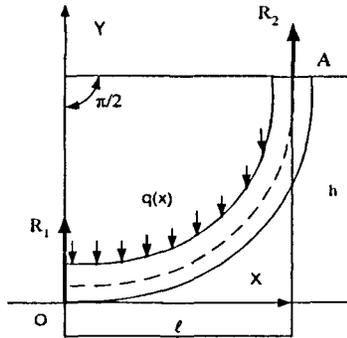


Рис 3 Расчетная схема придонного участка трубопровода

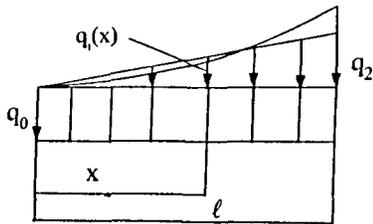


Рис 4 Эпюра отрицательной плавучести (допущение)

Примем допущение о том, что нагрузка $q(x)$ на участке ℓ (рис 3) распределена в виде трапеции (рис 4)

$$q_1(x) = x \frac{q_2}{\ell}. \quad (4)$$

Используем для определения формы кривой придонного участка зависимость

$$EJy^{IV} = q(x) = x \frac{q_2}{\ell} + q_0, \quad (5)$$

где J – момент инерции сечения труб

Выполняя интегрирование, получаем.

$$EJy''' = \frac{q_2}{\ell} \frac{x^2}{2} + q_0 x + C_1, \quad (6)$$

$$EJy'' = \frac{q_2}{\ell} \frac{x^3}{6} + q_0 \frac{x^2}{2} + C_1 x + C_2, \quad (7)$$

$$EJy' = \frac{q_2}{\ell} \frac{x^4}{24} + q_0 \frac{x^3}{6} + C_1 \frac{x^2}{2} + C_2 x + C_3, \quad (8)$$

$$EJy = \frac{q_2}{\ell} \frac{x^5}{120} + q_0 \frac{x^4}{24} + C_1 \frac{x^3}{6} + C_2 \frac{x^2}{2} + C_3 x + C_4, \quad (9)$$

где C_1, C_2, C_3, C_4 – произвольные постоянные, которые зависят от граничных условий

Дальнейшее решение выполняется с учетом граничных условий

Для $x = 0$,

$y(x) = 0$, при этом условии $C_4 = 0$

Изгибающий момент в сечении $x = 0$,

$$M(0) = \sigma_1 W, \quad (10)$$

где W – момент сопротивления, σ_1 – напряжение в сечении $x = 0$

$$\text{Соответственно } C_2 = \sigma_1 W \quad (11)$$

Далее из условия $EJy''' = -R_1$, находим $C_1 = -R_1$ (R_1 – поперечная сила в сечении $x = 0$)

$$(12)$$

Проектируя все силы на ось y , находим

$$R_1 + R_2 = \left(q_0 + \frac{q_2}{2} \right) \ell. \quad (13)$$

Значение R_2 определяется из условия

$$R_2 \ell = \frac{q_0 \ell^2}{2} + \int_0^\ell \frac{q_2}{\ell} x^2 dx, \quad (14)$$

$$R_2 = \left(\frac{q_0}{2} + \frac{q_2}{3} \right) \ell, \text{ - прилольная сила в сечении } x = \ell \quad (15)$$

$$\text{Так как } R_2 = \sigma_2 F \text{ или } \left(\frac{q_0}{2} + \frac{q_2}{3} \right) \ell = \sigma_2 F, \text{ то} \quad (16)$$

$$R_1 = \left(\frac{q_0}{2} + \frac{q_2}{6} \right) \ell, \quad (17)$$

где σ_2 - напряжение в сечении $x = \ell$ Силу в сечении $x = 0$, находим с учетом (16)

$$R_1 = \sigma_2 F - \frac{q_2 \ell}{6} \quad (18)$$

Аналогично, находим при $x = \ell$

$$\text{При } y' = \frac{\pi}{2},$$

$$EJ \frac{\pi}{2} = \frac{q_2 \ell^3}{24} + \frac{q_0 \ell^3}{6} + C_1 \frac{\ell^2}{2} + C_2 \ell + C_3, \quad (19)$$

$$C_3 = EJ \frac{\pi}{2} - \frac{q_2 \ell^3}{24} - \frac{q_0 \ell^3}{6} - C_1 \frac{\ell^2}{2} - C_2 \ell, \quad (20)$$

При $y = h$,

$$EJh = \frac{q_2 \ell^4}{120} + \frac{q_0 \ell^4}{24} + C_1 \frac{\ell^3}{6} + C_2 \frac{\ell^2}{2} + C_3 \ell \quad (21)$$

Учитывая приведенные зависимости, находим

$$\begin{cases} \frac{q_2}{\ell} \frac{x_{\max}^2}{2} + q_0 x_{\max} + C_1 = 0 \\ \frac{q_2}{\ell} \frac{x_{\max}^3}{6} + q_0 \frac{x_{\max}^2}{2} + C_1 x_{\max} + C_2 \leq [\sigma_{\text{дон}}] W, \end{cases} \quad (22)$$

где $[\sigma_{\text{дон}}]$ – предельное напряжение, при котором сохраняется неразрывность трубы

Определение максимальной допустимой высоты H_{max}

Продольная сила в точке В (рис 2)

$$Q_{\text{пр}} = H\rho + R_2, \quad (23)$$

$$Q_{\text{пр}} \leq [\sigma_{\text{дон}}]F \quad (24)$$

Из этих формул, получаем максимально допустимую глубину

$$H_{\text{max}} = \frac{[\sigma_{\text{дон}}]F - R_2}{\rho}, \quad (25)$$

а максимально допустимая глубина укладки $H_{\text{max ук}}$ при этом будет

$$H_{\text{max ук}} = h + H_{\text{max}} = h + \frac{[\sigma_{\text{дон}}]F - R_2}{\rho} \quad (26)$$

Эти расчеты напряженного состояния при различных ℓ и h нужно провести заранее до начала работ по укладке с целью получения рекомендаций по допустимой величине ℓ при заданном h , что зависит от реальной глубины моря при строительстве трубопровода и заданных его характеристик. Интервал длины провисающего участка трубопровода выбирается при выполнении следующих условий

$$\begin{cases} \left(\frac{q_0}{2} + \frac{q_2}{3}\right)\ell = \sigma_1 F \\ \left(\frac{q_0}{2} + \frac{q_2}{3}\right)\ell \leq [\sigma_{\text{дон}}]F - H\rho \\ \frac{q_2}{\ell} \frac{x_{\text{max}}^2}{2} + q_0 x_{\text{max}} + \frac{q_2 \ell}{6} - \sigma_2 F = 0 \\ \frac{q_1}{\ell} \frac{x_{\text{max}}^3}{6} + q_0 \frac{x_{\text{max}}^2}{2} + \left(\frac{q_2 \ell}{6} - \sigma_2 F\right) x_{\text{max}} \leq W([\sigma_{\text{дон}}] - \sigma_2) \end{cases} \quad (27)$$

Приведенное решение может быть использовано при проектировании технологии строительства подводных трубопроводов на больших глубинах

Расчет трубопроводов при укладке J-методом под произвольным углом наклона

Укладка трубопровода на больших глубинах возможна не только при вертикальном опускании труб, но и с наклоном, например, на угол φ (рис 5)

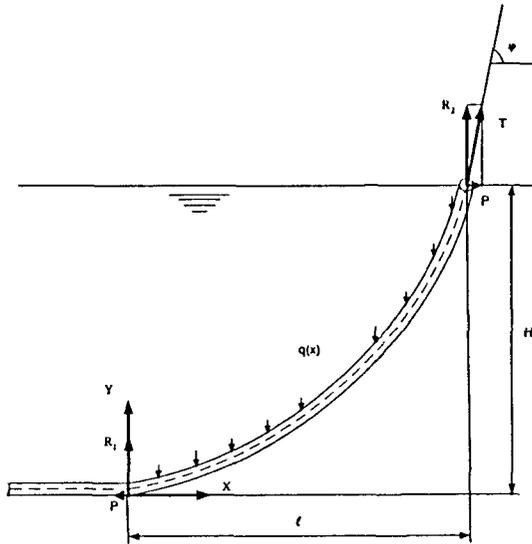


Рис 5 Расчетная схема укладки трубопроводов на больших глубинах с произвольным углом наклона

Примем допущение, что нагрузка $q(x)$ на участке l распределена в виде трапеции (рис 4) по формуле (5)

Как и при решении предыдущей задачи, зависимости $y'''(x)$, $y''(x)$, $y'(x)$ и $y(x)$ имеют вид (6), (7), (8), (9) и произвольные постоянные C_1, C_2, C_3, C_4 определяются с учетом граничных условий

$$T = \sigma_2 F, \quad (28)$$

$$R_2 = T \sin \varphi = \sigma_2 F \sin \varphi, \quad (29)$$

$$P = T \cos \varphi = \sigma_2 F \cos \varphi, \quad (30)$$

где σ_2 – напряжение в сечении $x = l$

Проектируя все силы на ось y , находим

$$R_1 + R_2 = \left(q_0 + \frac{q_2}{2} \right) \ell, \quad (31)$$

Значение R_2 определяется из условия

$$R_2 \ell = PH + \frac{q_0 \ell^2}{2} + \int_0^{\ell} \frac{q_2}{\ell} x^2 dx = \sigma_2 F H \cos \varphi + \frac{q_0 \ell^2}{2} + \int_0^{\ell} \frac{q_2}{\ell} x^2 dx \quad (32)$$

$$R_2 = \frac{\sigma_2 F H \cos \varphi}{\ell} + \left(\frac{q_0}{2} + \frac{q_2}{3} \right) \ell = \sigma_2 F \sin \varphi, \quad (33)$$

$$q_2 = \frac{3}{\ell} \left(\sigma_2 F \sin \varphi - \sigma_2 F \frac{H}{\ell} \cos \varphi - \frac{q_0 \ell}{2} \right) \quad (34)$$

$$R_1 = \left(q_0 + \frac{q_2}{2} \right) \ell - \sigma_2 F \sin \varphi \quad (35)$$

При $x = 0, y(x) = 0, C_4 = 0$

C_1 определяется по формуле (12), а C_2 по (11)

Аналогично находим при $x = \ell$

$$y' = \varphi,$$

$$EJ \varphi = \frac{q_2 \ell^3}{24} + \frac{q_0 \ell^3}{6} + C_1 \frac{\ell^2}{2} + C_2 \ell + C_3, \quad (36)$$

$$C_3 = EJ \varphi - \frac{q_2 \ell^3}{24} - \frac{q_0 \ell^3}{6} - C_1 \frac{\ell^2}{2} - C_2 \ell, \quad (37)$$

$$y = H,$$

$$EJH = \frac{q_2 \ell^4}{120} + \frac{q_0 \ell^4}{24} + C_1 \frac{\ell^3}{6} + C_2 \frac{\ell^2}{2} + C_3 \ell \quad (38)$$

Условие проверки максимального момента по сравнению с допустимым в сечении трубопровода при укладке выполняется по формуле (22)

Расчет устойчивости стенки трубопроводов

При строительстве морских трубопроводов J-методом на придонном участке действуют совместно гидростатическое давление и изгибающий момент, которые вызывают потерю устойчивости цилиндрической формы равновесия оболочки трубопроводов

Продольное сжимающее напряжение от гидростатического давления определяется по формуле

$$\sigma_{\text{гидро}} = -2\nu \frac{D^2_{\text{внеш}}}{D^2_{\text{внеш}} - D^2_{\text{внут}}} q_{\text{гидро}}, \quad (39)$$

в которой не учитывается изгибающий момент M_{max} , вызывающий дополнительное напряжение в стенке труб

$$\sigma_{\text{max}} = \pm \frac{M_{\text{max}}}{W}, \quad \text{в сжатой области стенки,} \quad (40)$$

где M_{max} определяется по формуле (22)

Полное напряжение будет определяться как

$$\sigma_{\text{п}} = \sigma_{\text{гидро}} \pm \sigma_{\text{max}} \quad (41)$$

На верхней образующей оболочки они суммируются (+), на нижней – вычитаются (-) (либо, наоборот, в зависимости от направления действия изгибающего момента)

Условия проверки устойчивости стенки трубопровода

$$\sigma_{\text{п}} \leq [\sigma_{\text{доп}}^y] \quad (42)$$

где $[\sigma_{\text{доп}}^y]$ – допустимое напряжение по устойчивости стенки трубопровода, определяемое экспериментом

В четвертой главе рассмотрено влияние волн, течений и судовой качки на напряженное состояние стояков и трубопроводов, укладываемых J-методом

Наибольшие напряжения в трубопроводе возникают при следующих видах качки трубоукладочного судна (баржи) вертикальной, килевой и продольно-горизонтальной. Остальные виды перемещения баржи бортовая качка, колебания вокруг вертикальной оси и в поперечно-горизонтальном направлении оказывают значительно меньшее влияние на напряженное состояние трубопровода и или можно пренебречь

Кроме этого, наибольшее воздействие оказывают волны и течения, имеющие перпендикулярное направление к продольной оси укладываемого трубопровода. Наименьшее воздействие испытывает трубопровод от волн и

течений, имеющих направление, параллельное продольной оси трубопровода

Заменяем эти нагрузки на три составляющие распределенную нагрузку от течения $q_1(y) = \frac{y-C_1}{H-C_1} q_1$ ($q_1 = 0$ при $0 \leq y \leq C_1$), распределенную нагрузку от волнения $q_2(y) = \frac{y-C_2}{H-C_2} q_2$ ($q_2 = 0$ при $0 \leq y \leq C_2$) и распределенную нагрузку от судовой качки $q_3(y) = \frac{y}{H} q_3$ в виде треугольников (рис 6)

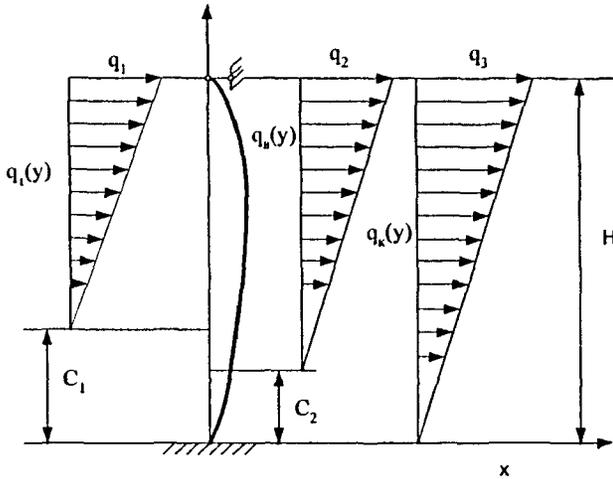


Рис 6 Нагрузки, действующие на трубопровода, укладываемого J-методом
Дифференциальное уравнение трубопровода

$$EJ \frac{d^4 x}{dy^4} - T \frac{dx^2}{dy^2} = \frac{y}{H} q_3 + \sum_{i=1}^2 \frac{y-C_i}{H-C_i} q_i, \quad (43)$$

$$\frac{du}{dy} = \frac{T}{EF} + \frac{x}{R} - \frac{1}{2} \left(\frac{dx}{dy} \right)^2, \quad (44)$$

где u – перемещение точек срединного слоя трубы, F – площадь поперечного сечения трубы, R – радиус трубы

При решении уравнений (43), (44) используем условия

1 $u = 0, x = 0$ при $y = 0$ и $y = H$,

$$2 M_{y=H} = M_{y=0} = EJ \frac{d^2 x}{dy^2} = 0$$

Уравнения (43), (44) можно решить также с использованием тригонометрических функций

$$x = \sum_{k=1}^{2n-1} x_k \sin \frac{k\pi y}{H} \quad (45)$$

Продольная сила в соответствии с (44), (45) и первому граничному условию при $y = H$ будет

$$T = \frac{\pi^2 EF}{4H^2} \sum_{k=1}^{2n-1} k^2 x_k^2 \quad (46)$$

Изгибающий момент

$$M = EJx'(y) = - \sum_{k=1}^{2n-1} EJ \left(\frac{k\pi}{H} \right)^2 x_k \sin \frac{k\pi y}{H} \quad (47)$$

Для определения неизвестного x_k умножим выражение (43) на $\sin \frac{k\pi y}{H}$ и возьмем от полученного произведения интеграл по области изменения y , т.е. от 0 до H

$$\int_0^H \left(EJ \frac{d^4 x}{dy^4} - T \frac{d^2 x}{dy^2} - \frac{y}{H} q_1 - \sum_{i=1}^2 \frac{y - C_i}{H - C_i} \right) \sin \frac{k\pi y}{H} dy = 0 \quad (48)$$

Поставим (45) и (46) в (48) и используем условие $\frac{y - C_i}{H - C_i} q_1 = 0$ при

$0 \leq y \leq C_i$ ($i = 1, 2$) окончательное выражение будет

$$\frac{EF}{4} \left(\frac{k\pi}{H} \right)^4 x_k^4 + EJ \left(\frac{k\pi}{H} \right)^4 x_k = \frac{2q_1}{k\pi} + \sum_{i=1}^2 \frac{2q_i}{k\pi(H - C_i)} \left(H - C_i - \frac{H}{k\pi} \sin \frac{k\pi C_i}{H} \right) \quad (49)$$

Решив (49), получим значение x_k (положительное значение), а так же прогиб трубопровода по (45)

Из результатов расчета напряженного состояния трубопровода, укладываемого J-методом с учетом воздействия судовой качки, волн и

течений можно отметить, что напряжение трубопровода вызывается кроме момента $M(y)$ по (7) еще моментом $M(x)$ по (47) и растягивающей силой T по (46), которые приводят к повышению напряжения трубопровода в процессе укладки. Такое решение можно принять также для расчета напряженного состояния стояков, приерепляемых к платформам.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1 Разработан метод расчета напряженного состояния трубопровода при укладке J-методом в случае вертикального опускания трубы, который позволяет определить конфигурацию и напряженно-деформированное состояние трубопровода.

2 Разработан метод расчета напряженного состояния трубопровода при укладке J-методом в случае любого угла наклона оси трубопровода, который также позволяет определить конфигурацию и напряженно-деформированное состояние трубопровода.

3 Показано, что расчеты напряженного состояния трубопроводов, укладываемых на больших глубинах зависят не только от глубины укладки, но и от воздействия волн и течений, имеющих вероятностный характер.

4 Разработан расчет устойчивости стенки трубопровода при укладке J-методом, позволяющий определить необходимые толщины стенки труб, а также условия предотвращения лавинного смятия трубопровода.

5 Разработан расчет трубопроводов, укладываемых J-методом и стояков на переменные воздействия волн, течений и судовой качки, позволяющие определить колебания трубопровода при укладке и его напряженно-деформированное состояние, что дает возможность обеспечить безаварийную укладку трубопровода.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

- 1 Нгуен Ван Шон, Нгуен Чи Зунг - Освоение маргинальных месторождений южного Вьетнама Вестник ассоциации буровых подрядчиков, № 1, 2006, стр 20-23
- 2 Нгуен Ван Шон, Нгуен Чи Зунг, - Основные разрушения морских трубопроводов Техника и технология, № 1, 2006, стр 70-72
- 3 Нгуен Ван Шон - Определение волновых нагрузок на вертикальные цилиндры Бурение & Нефть, № 1, январь 2007, стр 21-23
- 4 Нгуен Ван Шон - Влияние различных нагрузок на расчет вертикальных стержней (опор), морских нефтегазовых платформ. Материалы международной научно-технической конференции “Нефть, газ Арктики” в июне 2006 года, стр 294
- 5 Нгуен Ван Шон - Расчеты при строительстве трубопроводов в глубоководной акватории Материалы 7-й научно-технической конференции “Актуальные проблемы состояния и развития нефтегазового комплекса России” в январе 2007 года, стр 378

Соискатель



Нгуен Ван Шон