изгибающий момент возникает на участке a. Реакция R в зависимости от максимального изгибающего момента M_{max} на участке a составляет

$$R = \sqrt{2pM_{max}} = \sqrt{2p\sigma W}. \qquad (11.65)$$

Приравнивая выражение (11.64) к (11.65), получаем

$$M_{max} = \sigma W = \frac{p}{2}\left(\frac{L}{\sqrt{\frac{1}{m}+1}}\right)^2; \qquad (11.66)$$

$$L = \left(\sqrt{\frac{1}{m}}+1\right)\sqrt{\frac{2\sigma W}{p}}. \qquad (11.67)$$

Пример 3. Определить напряжения для завершающей стадии погружения короткой плети трубопровода. Исходные данные: p=2,051 кгс/см, m=0,739, L=117,403 м. Остальные данные см. в примере на стр. 266.

Из формулы (11.66) находим

$$\sigma = \frac{2{,}051}{2\cdot 7936}\left(\frac{11740{,}3}{\sqrt{\frac{1}{0{,}739}}+1}\right)^2 = 3806\ \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}.$$

Эта величина превышает напряжения σ=3050 кгс/см², принятое в примере на стр. 266, и σ=3568 кгс/см², полученные в предыдущем примере.

Следовательно, в рассматриваемом случае, при одинаковой длине короткой плети трубопровода L напряжения для завершающей стадии погружения превышают напряжения, возникающие при начальной и промежуточной стадиях погружения. Поэтому необходимо определять напряжения для всех стадий погружения трубопровода и в качестве расчетных принимать наибольшие из них.

§ 11.5. РЕГУЛИРОВАНИЕ ГЛУБИНЫ ПОГРУЖЕНИЯ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ УКЛАДКИ ТРУБОПРОВОДОВ СВОБОДНЫМ ПОГРУЖЕНИЕМ

Максимальная глубина укладки трубопровода свободным погружением ограничивается величиной допустимого напряжения. Как показывают расчеты, максимальную глубину укладки трубопровода можно увеличить изменением параметра $m = q/\omega$ при ω=const. На графиках зависимости безразмерных максимальных напряжений от параметра $\bar{\sigma}$ для случая изгиба трубопровода по S-образной кривой (см. рис. 11.13) видно, что максимальные напряжения в трубопроводе уменьшаются с увеличением m при $m > 0{,}6 \div 0{,}7$ в зависимости от длины погруженного в воду участка трубопровода $\bar{c}$. Уменьшение максимальных напряжений происходит и при уменьшении параметра m при

$m < 0{,}4 \div 0{,}35$. Следовательно, уменьшить максимальные напряжения в трубопроводе или увеличить глубину его укладки можно уменьшением и увеличением интенсивности нагрузок p и q, применяя для этого дополнительную пригрузку или разгружающие понтоны. Возможны различные технологические способы регулирования параметра m и различные соответствующие им схемы укладки трубопровода свободным погружением.

1. Укладка трубопроводов без понтонов.

Оснащенный трубопровод имеет положительную плавучесть и укладка его осуществляется заливом воды в трубопровод. Эта схема применима для нефтепродуктопроводов, водоводов и других трубопроводов, которые в период эксплуатации будут заполнены водой, нефтью и другими продуктами и иметь отрицательную плавучесть, достаточную для обеспечения устойчивости на сдвиг и всплытие. Если требуемая глубина укладки больше допустимой из условия прочности трубы, то уменьшают положительную плавучесть q применением дополнительного балласта. При этом уменьшается параметр m, и при $m < 0{,}4 \div 0{,}35$ происходит уменьшение максимальных напряжений в трубопроводе.

При значительной положительной плавучести $m > 0{,}7$ увеличение глубины погружения можно получить заливом в трубу вместо воды жидкости меньшей плотности, что приводит к увеличению параметра m и снижению напряжения в трубопроводе.

Изменение параметра m и тем самым регулирование глубины укладки подводного перехода конструкции труба в трубе, имеющего положительную плавучесть, можно осуществить заполнением водой или специальной жидкостью внутреннего трубопровода или межтрубного пространства. Таким же вариантом регулирования параметра m является укладка с использованием монтажного трубопровода, размещаемого внутри укладываемого.

2. Укладка трубопроводов с применением понтонов.

Оснащенный трубопровод имеет положительную плавучесть только при наличии понтонов, укладка его осуществляется отстропкой понтонов или заливом в них воды. Укладка трубопроводов с использованием понтонов может иметь различные схемы и применяется как для погружения газопроводов, так и нефтепродуктопроводов и водоводов.

Подводные газопроводы по сравнению с нефтепроводами и водоводами имеют значительное количество балласта, необходимого для обеспечения их устойчивости на сдвиг и всплытие, поскольку газопроводы водой не заполняют. Для обеспечения положительной плавучести при установке в створ газопроводы