дорожки являлся слой щебня, поверх которого были уложены стальные полосы с синтетическим покрытием для опирания трубопроводов *5* и *9* (см. рис. 10.21). После спусковой дорожки трубопроводы перемещались по траншее для протаскивания с минимальной глубиной 1,6 м, а затем по траншее для укладки перехода с глубиной более 5 м.

Протаскивание осуществлялось с помощью трех лебедок с тяговым усилием каждой до 100 тс и диаметром троса 51 мм. Лебедки устанавливались на барже, которая удерживалась восемью якорями. На передней раме конструкции пакета трубопроводов были закреплены три блока диаметром по 115 см, которые позволяли создавать общее тяговое усилие до 600 тс.

Вертикальные опорные конструкции пакета трубопроводов при протаскивании опирались на стальные салазки, для облегчения перемещения по дну залива они поддерживались двумя плавучими кранами грузоподъемностью по 400 тс. Оба крана, поддерживающие передние и задние салазки, перемещались вместе с протаскиваемыми трубопроводами. В начальный момент протаскивания баржа с лебедками располагалась на расстоянии 2,4 км от головной части пакета трубопроводов, и общая длина проложенных по дну тросов была более 14,4 км. Скорость протаскивания всей конструкции достигала 7 м/мин.

3. При укладке трубопроводов на больших глубинах и в суровых условиях с частыми штормами использование обычных трубоукладочных барж неэффективно. В этих условиях возможно применение трубоукладочных барж третьего поколения. Однако, если на трассе трубопровода протяженность глубоководных участков незначительна (до 25 км), то использование этих барж, имеющих высокую стоимость и производительность, на таких сравнительно коротких участках также невыгодно. Поэтому в последнее время изучаются возможности укладки трубопроводов на больших глубинах без применения трубоукладочных барж. Среди них перспективным считается метод протаскивания. В § 10.1 были рассмотрены возможные схемы укладки трубопроводов протаскиванием на глубоководных участках. В настоящее время уже проведены первые экспериментальные исследования в этом направлении. Например, в работе [86] приводятся результаты исследований укладки трубопроводов протаскиванием на больших глубинах в условиях Северного моря.

Для проведения экспериментов были подготовлены четыре плети трубопроводов длиной по 152 м, три из них диаметром 762 мм и одна — 410 мм. Применялась изоляция различных типов и различные утяжеляющие защитные покрытия труб. Первая плеть имела бетонное покрытие двух типов (с одной и с двумя армирующими сетками), вторая — защитный слой, состоящий из смеси бетона со стекловолокном и усиленной армирующей сеткой, третья — изоляцию пяти различных типов на основе эпоксидных смол, изоляция каждого типа состояла из

двух слоев изоляции и обертки, четвертая плеть не изолировалась. Протаскивали плети на расстояние 383 км через Норвежскую впадину в Северном море. Эксперименты проводились с целью исследования возможности протаскивания трубопровода точно по заданным направлениям без механических повреждений.

Протаскиваемые плети были оборудованы герметичными камерами с комплектом контрольно-измерительного оборудования для графической и цифровой регистрации положения трубы, глубины погружения, нагрузок и напряжений. В середине плетей были установлены датчики для непрерывного измерения напряжений, возникающих от изгиба трубопровода в процессе протаскивания. На буксирном судне была установлена аппаратура для непрерывного измерения тягового усилия.

Исследования показали, что укладка трубопроводов с буксировкой плетей по дну на большие расстояния вполне технологична. Протаскивание по дну гарантирует точность укладки плетей по проектному створу, в меньшей степени по сравнению с другими способами укладки зависит от погодных условий, а напряжения, возникающие в трубопроводе при буксировке, не опасны. Буксиры мощностью 22 тыс. л. с. могут транспортировать по морскому дну плети длиной 11 км. Укладку протаскиванием можно совместить с разработкой траншеи путем установки на оголовке плети устройства типа плуга. Стоимость укладки протаскиванием уменьшается примерно на 50% по сравнению с затратами на укладку с трубоукладочных барж. Однако сложным является решение вопросов соединения отдельных плетей в сплошную нитку.

§ 10.6. УКЛАДКА ПРОТАСКИВАНИЕМ С РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ТЯГОВОГО УСИЛИЯ ПО ДЛИНЕ ТРУБОПРОВОДА

Укладка протаскиванием морских трубопроводов большой протяженности или их транспортировка по дну требует приложения значительного тягового усилия, приводящего иногда к возникновению в материале трубы растягивающих напряжений, превышающих допустимые. В США предложено устройство для распределения тягового усилия по длине протаскиваемого трубопровода (рис. 10.22). Протаскиваемый трубопровод имеет положительную плавучесть, которую можно достичь, используя различные типы понтонов.

Устройство состоит из тягового распределительного троса *3*, расположенного под трубопроводом *1* и прикрепленного к нему подвесками *2*. Один из возможных вариантов присоединения подвесок к трубопроводу и тяговому распределительному тросу показан на рис. 10.22, *б*. На каждом конце подвески имеются