поршневого устройства *10* перемещаются по направляющему тросу. Затем передний захват зажимает трос, а задний освобождает его, и происходит подтягивание штоками *13* поршневого устройства заднего захвата с поперечиной *16* и трубопровода *6*. Поршневое устройство с попеременной работой задних и передних захватов может создавать при тросе диаметром 50 мм непрерывное тяговое усилие до 90 тс со скоростью протаскивания трубопровода до 20 м/мин.

Энергетический блок, насос и топливные баки, питающие жидкостью поршневое устройство и захваты, расположены на сопровождающем судне *4* (см. рис. 10.17, *а*). Сопровождающее судно соединяется с тяговым механизмом *5* с помощью гибких шлангов. Трубопротаскивающее устройство оснащено понтонами *12* (см. рис. 10.17, *б*), которые уменьшают сопротивление его при движении по морскому дну и исключают вращение протаскиваемого трубопровода.

Поперечина *16* тягового механизма соединена планкой *17* с оголовком *19* протаскиваемого трубопровода. Оголовок закреплен с трубопроводом с помощью фланцев *20*. Для предотвращения зарывания в грунт оголовок установлен на салазках *21* и оснащен понтоном *18*. Понтон, кроме того, уменьшает возможность вращения трубопровода, поскольку при растяжении тяговый трос может раскрутиться и вызвать вращение всей системы.

При достижении трубопроводом заданной точки процесс протаскивания прекращается, и тяговый механизм отсоединяется от трубопровода. Оголовок может быть снят водолазом, а протаскиваемый трубопровод подсоединен к морской платформе или ранее проложенному трубопроводу.

Если длина троса, по которому перемещается тяговый механизм, недостаточна, то при достижении анкерной точки *2* захваты освобождают трос, который затем протягивается и закрепляется в следующей анкерной точке. Таким образом можно переместить трубопровод на любую длину. Длина трубопровода, протаскиваемого без повторного заякоривания троса, ограничена только диаметром и длиной применяемого троса. Тяговый механизм такого типа может быть применен и для разработки траншеи.

§ 10.4. РАСЧЕТ ПРОТАСКИВАНИЯ ПОДВОДНОГО ТРУБОПРОВОДА

При укладке трубопроводов протаскиванием необходимо достоверное определение тягового усилия для всех приведенных выше схем укладки. От правильного определения тягового усилия зависит успех операции протаскивания. По величине тягового усилия назначаются тяговые машины и механизмы, диаметр тягового троса и технологическая схема протаскивания.

Чрезмерное завышение тягового усилия потребует дополнительных тяговых средств, занижение может привести к задержке и даже к аварийной ситуации.

Расчетная величина тягового усилия $T_р$ определяется по предельному сопротивлению на сдвиг протаскиваемого трубопровода из условия

$$T_р \geqslant mT_{пр}, \tag{10.3}$$

где m — коэффициент условий работы тяговых средств, принимаемый 1,1 при протаскивании лебедками и 1,2 — тягачами; $T_{пр}$ — предельное сопротивление трубопровода на сдвиг.

Рассмотрим основные расчетные случаи.

1. Протаскивание по поверхности грунта, движение установившееся, равномерное, величина $T_{пр}$ определяется по формуле

$$T_{пр} = Qf, \tag{10.4}$$

где Q — расчетный вес трубопровода; f — коэффициент трения поверхности трубы о грунт, наибольшее значение

$$f = \operatorname{tg}\varphi_р.$$

Здесь $\varphi_р = \varphi/k_г$ — расчетное значение угла внутреннего трения грунта; φ — нормативное значение угла внутреннего трения грунта; $k_г$ — коэффициент безопасности по грунту, устанавливается в зависимости от φ (см. СНиП II-15—74).

2. Усилие протаскивания при трогании трубопровода с места.

Из опыта протаскивания подводных трубопроводов известно, что сопротивление протаскиванию в момент трогания значительно больше, чем при равномерном движении, определяемом по формуле (10.4).

Увеличение тягового усилия в момент трогания обусловливается несколькими факторами: сцеплением грунта c, пассивным отпором грунта за счет различных выступов на поверхности трубы (футеровка, балластировка отдельными грузами), явлением присоса трубопровода к грунту и упругим взаимодействием трубопровода с грунтом.

В общем случае усилие протаскивания трубопровода по грунту в момент трогания $T_п$ определяется из условия

$$T_п = (q \operatorname{tg}\varphi_р + ac')l + E_{пас} + T_у, \tag{10.5}$$

где a — длина части окружности трубы, врезающейся в грунт; q — вес единицы длины снаряженного трубопровода; c' — восстанавливающаяся часть сцепления при скольжении трубопровода по грунту; определяется экспериментально, при отсутствии экспериментальных данных c' можно принять равным 0,1 структурного сцепления грунта c; l — длина трубопровода; $E_{пас}$ — пассивный отпор грунта вследствие шероховатости поверхности трубы; $T_у$ — дополнительное сопротивление, обусловленное упругим взаимодействием трубопровода с грунтом в момент трогания.