

РИС. 10.20.
Распределение касательных напряжений в грунте при максимальном тяговом усилии

Формула (10.22) может быть использована для определения тягового усилия в момент трогания при протаскивании футерованного или бетонированного трубопровода, а также для определения максимального тягового усилия, необходимого для вытаскивания подводного трубопровода при проведении капитального ремонта.

При вынужденных остановках протаскивания на глинистых грунтах усилие трогания иногда оказывается больше начального. Это объясняется присосом трубопровода к грунту. Сила присоса зависит от площади опирания трубопровода на грунт, времени, в течение которого он находится в покое, и вида грунта. На песчаном грунте присос практически отсутствует. На глинистых грунтах присос следует учитывать при остановках протаскивания не менее 1 ч. Сила присоса характеризуется удельной силой $q_п$ на 1 м² площади опирания. В плотных глинах и суглинках $q_п = 0{,}03$ тс/м², в вязких $q_п = 0{,}06$ тс/м².

Таким образом, при повторном трогании

$$T_{пов} = (q \operatorname{tg} \varphi_р + ac')l + E_{пас} + q_п F_0, \qquad (10.25)$$

где F_0 — площадь опирания трубопровода на водонасыщенный глинистый грунт.

Подставляя наибольшее из усилий, найденное по формулам (10.4), (10.5), (10.25), в условие (10.3) вместо $T_{пр}$ определяют расчетное тяговое усилие $T_р$, на которое рассчитывают диаметр тягового троса и подбирают тяговые средства.

Если профиль дна, по которому протаскивается трубопровод, имеет различные уклоны, то тяговое усилие при равномерном движении трубопровода определяется по формуле

$$T_р = q \sum_{i=1}^{i=n} l_i (\operatorname{tg} \varphi_{р\,i} \cos \alpha_i \pm \sin \alpha_i), \qquad (10.26)$$

где α_i — уклон профиля дна на участке длиной l_i. Знак «плюс» перед вторым слагаемым (10.26) принимается при уклонах дна, соответствующих подъему, а «минус» — спуску.

При протаскивании трубопровода с одновременным заполнением его водой через отверстие, оставляемое в головной части, необходимо уравнять скорость протаскивания со скоростью заполнения водой. Если скорость протаскивания будет больше скорости заполнения трубы водой, возможно всплытие незаполненной водой части трубопровода. Для обеспечения устойчивости трубопровода необходимо, чтобы уровень воды в нем не опускался ниже уровня воды в водоеме в среднем на 1 м. Считая отверстие для залива воды круглым и определив секундный расход (поступление) воды в отверстие при напоре 1 м (разность уровней воды в реке и трубопроводе), получим выражение для скорости движения трубопровода

$$v = 2{,}7 \frac{d^2}{D_{вн}^2}, \qquad (10.27)$$

Пусть $d = 0{,}2$ м, $D_{вн} = 0{,}7$ м. По формуле (10.27) $v = 0{,}22$ м/с; при $d = 0{,}3$ м $v = 0{,}5$ м/с; при $d = 0{,}4$ м и $D_{вн} = 1$ м $v = 0{,}43$ м/с.

Следует отметить, что на сопротивление протаскивания существенно влияет режим движения системы: тяговый механизм — трос — протаскиваемый трубопровод. При неустановившемся или переходном режиме этой системы сопротивление протаскиванию изменяется на величину ее силы инерции.

Неустановившийся режим движения имеет место при трогании трубопровода с места, изменении силы тяги вследствие несогласованности в работе тяговых механизмов при протаскивании несколькими тракторами или тягачами, неоднородных грунтах по длине трубы, изменении сопротивления протаскиванию при перемещении трубопровода со спусковой дорожки на дно водной преграды, различных уклонах дна в створе протаскиваемой трубы. Силы инерции возникают и вследствие динамического приложения тягового усилия при трогании трубопровода «рывком» тракторами. При неустановившемся режиме движения подводного трубопровода сопротивление протаскиванию возрастает по сравнению с установившимся движением трубы на величину силы инерции, обусловленной массой трубопровода и присоединенной массой воды, окружающей трубопровод. Наименьшее сопротивление протаскиванию в момент трогания трубопровода возникает при монотонном увеличении силы тяги с незначительной скоростью ее нарастания. Поэтому очевидно, что на увеличение тягового усилия инерционное воздействие при протаскивании трубопровода лебедками влияет значительно меньше, чем при протаскивании тракторной тягой.

Таким образом, можно сделать вывод, что упругое взаимодействие трубы и грунта, пассивный отпор грунта, создаваемый утяжеляющими грузами, явление присоса и инерционные воздействия могут значительно увеличить тяговое усилие в момент трогания трубопровода.

При укладке протаскиванием через широкие водные преграды и морские акватории длина протаскиваемого трубопровода ограничивается продольными напряжениями, возникающими от тягового усилия, которые могут превысить предел