емной силы для трубопроводов, расположенных в подводных траншеях; $v_{т.р}$ — расчетная скорость потока, действующего на трубопровод, находящийся в траншее.

Значения $P_{хт}$ и $P_{ут}$, вычисленные по формулам (3.10) и (3.11), позволяют определять силовое воздействие потока на трубопровод, занимающий различные положения в траншее, но для этого необходимо установить расчетную скорость потока в последней $v_{т.р}$ и коэффициенты $C_{хт}$ и $C_{ут}$.

Эксперименты по определению $C_{хт}$ и $C_{ут}$ проводились в гидравлическом лотке со специальным углублением 0,6 м для устройства траншей различных форм и размеров в условиях, отвечающих плоской задаче. В опытах были приняты траншеи с гладкими поверхностями, трапецеидальной и прямоугольной формы, а также траншеи с криволинейными профилями, соответствующими профилям, встречающимся в натурных условиях при различных характеристиках грунтов и способах устройства траншей. Масштаб моделей траншей был равен 1 : 2÷1 : 10.

Коэффициенты лобового сопротивления $C_{хт}$ и подъемной силы $C_{ут}$ для цилиндров, находящихся в подводных траншеях, являются функцией следующих безразмерных параметров:

$$C_{хт}(C_{ут}) = f\left(\mathrm{Re},\ \mathrm{Fr},\ m,\ \frac{b_т}{h_т},\ \frac{D}{h_т},\ \frac{H}{h_т},\ \frac{s}{D},\ \varepsilon,\ I,\ k\right), \quad (3.12)$$

где $\mathrm{Re} = \frac{v_{т.р} D}{\nu}$, $\mathrm{Fr} = \frac{v^2}{g H}$; $h_т$ — глубина траншеи; m — заложение откосов траншеи; $b_т/h_т$ — отношение ширины траншеи по дну к глубине; H — глубина транзитного потока.

Указанные параметры изменялись в следующих пределах: $\mathrm{Re} = 2{,}5 \cdot 10^3 \div 2{,}8 \cdot 10^4$; $\mathrm{Fr} = 0{,}0015 \div 0{,}3$; $\mathrm{m} = 0{,}5 \div 2{,}5$; $b_т/h_т = 0{,}5 \div 5{,}5$; $\frac{D}{h_т} = 0{,}17 \div 0{,}64$; $H/h_т = 0{,}5 \div 10$. Диаметры моделей были приняты $D = 50$, 70, 106, 160, 220 мм; глубина траншей — 120—600 мм; $H = 300 \div 600$ мм.

Модели устанавливали на дне траншеи на равном расстоянии от верхового и низового откосов.

Как показывают результаты опытов, при незначительном стеснении траншеи трубопроводом абсолютные значения $C_{хт}$ и $C_{ут}$ несущественно зависят от параметров m, Fr, $b_т/h_т$, $H/h_т$ и в практических расчетах при равных числах Рейнольдса, степени турбулентности потоков могут быть приняты равными C_x и C_y, т. е. как для трубопроводов, расположенных на дне транзитного потока.

Следует отметить, что при одинаковой скорости транзитного потока составляющие силового воздействия на трубопроводы, расположенные в подводных траншеях, $P_{хт}$ и $P_{ут}$ значительно меньше составляющих силового воздействия P_x и P_y для трубопроводов, находящихся на дне транзитного потока.

В отличие от $C_{хт}$ и $C_{ут}$ значения $P_{хт}$ и $P_{ут}$ существенно зависят от параметров Fr, m, $b_т/h_т$ и Φ, поскольку эти параметры определяют кинематику и расчетную скорость потока в подводных траншеях $v_{т.р}$.

Влияние критерия Fr на величины $P_{хт}$ и $P_{ут}$ связано с изменением кинематики потока в подводных траншеях. Для всех параметров траншей, принятых в опытах, кроме $m = 2{,}5$ и $b_т/h_т = 5{,}5$, имеет место циркуляционное течение с отрицательными скоростями вблизи дна траншеи. Размеры, форма и положение циркуляционных областей зависят от критерия Fr и влияют не только на величины $P_{хт}$ и $P_{ут}$, но и на направление $P_{хт}$. Сила лобового сопротивления $P_{хт}$ может принимать как положительный, так и отрицательный (вектор $P_{хт}$ имеет противоположное направление относительно вектора скорости транзитного потока) знаки.

Зависимость $P_{хт}$ и $P_{ут}$ от заложения откосов траншеи определяется изменением кинематики потока в подводных траншеях. При изменении m в пределах 0—1 циркуляционное движение потока занимает почти всю траншею, за исключением $b_т/h_т = 5{,}5$. Цилиндры, расположенные на дне траншеи, находятся в области отрицательных скоростей, поэтому значения $P_{хт}$ отрицательны.

С увеличением m от 1 до 2,5 резко уменьшаются размеры циркуляционных областей, изменяется их положение в траншее, и движение жидкости в большей части траншеи совпадает с направлением транзитного потока. Вследствие этого $P_{хт}$ существенно зависит от изменения m в пределах 1—2,5 и в зависимости от значений остальных параметров может иметь как положительный, так и отрицательный знаки.

С увеличением m подъемная сила $P_{ут}$ уменьшается, что объясняется снижением отрицательных скоростей потока над цилиндром при $m < \sim 1$ и незначительным увеличением положительных скоростей при приближении к $m = 2{,}5$. При определенных промежуточных значениях m осредненное значение $P_{ут}$ будет равно нулю (мгновенные значения $P_{ут}$ могут быть отличны от нуля из-за повышенной пульсации скоростей потока в траншее по сравнению с основным потоком). При дальнейшем увеличении m значения коэффициентов $P_{хт}$ и $P_{ут}$ увеличиваются, приближаясь к значениям P_x и P_y для цилиндров, расположенных на дне транзитного потока. Скругление откосов траншей аналогично увеличению параметра m, так как оба этих параметра способствуют более плавному сопряжению дна потока и траншеи.

Изменение отношения $b_т/h_т$ значительно влияет на величины $P_{хт}$ и $P_{ут}$. При увеличении $b_т/h_т$ от 0,25 до 5,5 ($m = 0{,}5 \div 1{,}0$) возрастают по абсолютной величине отрицательные значения $P_{хт}$. Это объясняется увеличением интенсивности циркуляции потока в траншее.