

ФИЗИЧЕСКОЕ И ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ, НА УЧАСТКЕ РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОДВОДНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

М.Е. Гармакова, В.В. Дегтярев, Ю.Г. Мельникова, Н.Н. Федорова

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин), 60008, г. Новосибирск, Россия

В последнее время в России очень быстрыми темпами развивается трубопроводный транспорт газа и нефти. Трубопроводы относятся к объектам повышенной экологической опасности в случае их повреждений. Замена изношенного оборудования и трубопроводной арматуры в последние 10 лет ведется крайне низкими темпами. Именно поэтому наблюдается устойчивая тенденция увеличения аварийности на трубопроводном транспорте. Повреждения могут произойти из-за нарушений правил их эксплуатации, строительства и естественных гидрологических и гидроморфологических явлений, изменяющих ход и интенсивность русловых переформирований. Изучению данного вопроса, в силу различных причин, посвящено много отечественных и зарубежных работ [1 -5].

Донный грунт речного русла в местах залегания трубопровода подвержен риску размыва как вследствие обычного транспорта наносов, так и по причине сложных процессов в зоне их расположения. На размывом участке дна возникает провисание трубопровода, что приводит к генерации его свободных колебаний и развитию резонансных явлений. Эти обстоятельства могут привести к его механическому разрушению, в первую очередь в области стыков, и опасной утечке загрязняющих веществ в воду. Результаты исследования гидродинамических аспектов силового воздействия воды на трубопровод могли бы оказаться полезными при решении следующих практических задач:

- определении необходимости и целесообразности засыпки грунтом погруженной трубы;
- разработке рекомендаций для проектирования защитных устройств;

Различные степени неисправности подводного перехода трубопровода демонстрирует рис. 1. Степень неисправности характеризуется величиной Δh , которая является разностью отметки верха трубопровода h_1 и ближайшей отметки поверхности земли h_2 , в точке максимальной разницы между ними.

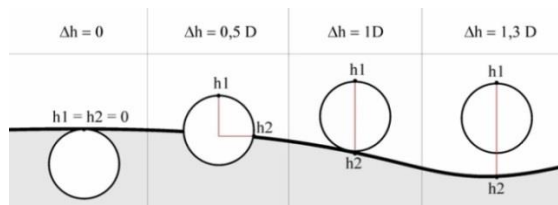


Рис. 1. Различные степени неисправности трубопровода, характеризуемые величиной Δh .

Результаты физического и численного моделирования рассматриваемого процесса представлено в ряде статей [5, 6].

В настоящей работе выполнено физическое и численное моделирование процесса размыва дна при различной схеме расположения одиночного и двух параллельно лежащих трубопроводов (цилиндров) относительно размываемого дна.

Установка (рис.2.) представляет собой лоток прямоугольной формы, на дно равно-

мерно укладывается песок. Диаметр частиц ($d=0,05$ мм) подбирается так, чтобы исключить возникновения выноса частиц (т.е., с учетом не размывающих скоростей) в случае отсутствия цилиндра. На песчаное дно укладывается цилиндр, жестко закрепленный на боковых стенках лотка для имитации реальных условий, когда цилиндры вдоль трассы подводного перехода неподвижны и опираются на поверхность сформированную песком.

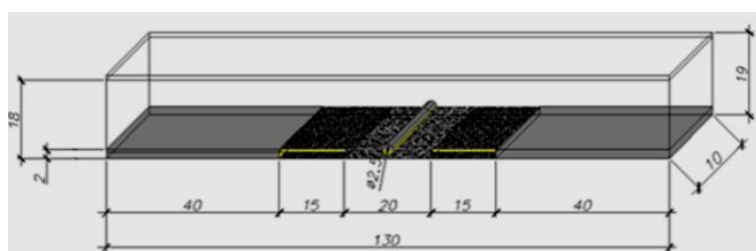


Рис. 2. Модель экспериментального лотка

В экспериментах рассматривались три схемы расположения одного или двух цилиндров (рис. 3).

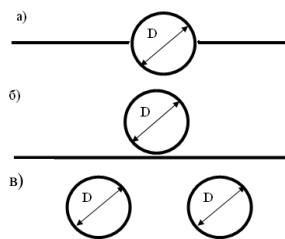


Рис. 3. Схемы проведенных экспериментов а) заглубливание цилиндра на $1/2D$, б) цилиндр на поверхности дна, в) на поверхности дна расположены два цилиндра.

Некоторые результаты экспериментов приведены на рис.4 и рис.5. Рисунок показывают процесс переформирования размываемого дна в условиях эксперимента.



Рис. 4. Размыв песчаного дна - образование сквозной полости под цилиндром



Рис. 5. Размыв песчаного дна - образование сквозной полости под двумя цилиндрами

Численное моделирование реализовано в программном комплексе ANSYS Fluent³ на основе осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье-Стокса, дополненных уравнениями эйлеровой модели многофазности с учетом гранулярности фазы частиц. В рамках этой модели для каждой фазы (жидкость и твердые частицы) решаются свои уравнения неразрывности и импульсов. Взаимодействие фаз учитывается через общее давление и коэффициенты межфазного обмена. Для моделирования турбулентности использована стандартная $k-\epsilon$ модель турбулентности [7].

³ ANSYS Customer Number 531496

Задача решена в нестационарной постановке в двухмерном приближении. Геометрическая модель и расчетная сетка (рис.6), построены в ANSYS Workbench с использованием модулей Design Modeler и Meshing.

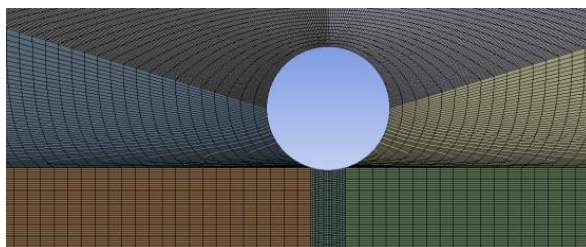


Рис.6. Расчетная сетка в окрестности трубы

На входе и выходе из расчетной областей заданы граничные условия постоянства массового расхода $Q_{вх}=Q_{вых}=1,468 \text{ кг/с}$.

Результат моделирования процесса размыва песчаного дна в зоне расположения трубопровода представлен на рис.7. Рисунок показывает, что результаты численного моделирования качественно совпадают с данными физического эксперимента.

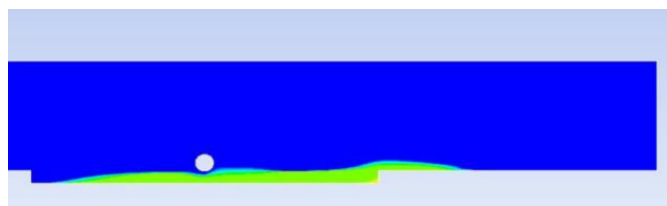


Рис.7. Объемная концентрация песка

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дегтярев-мл. В.В. Силовое воздействие волны прорыва на трубопровод / Букреев В.И., Зыков В.В., Дегтярев В.В. // Изв. вузов. Строительство. – 2008. - №1 (589). – С. 57-61.
2. Букреев В. И. Методика экспериментального исследования силового воздействия волн на препятствия/В. И. Букреев, В. В. Дегтярев, А. В. Чеботников//Изв. вузов. Строительство.-2007.-№ 7.-С. 70-75
3. Бриллиантов А.Н., Глотко А.В., Жуков Г.Д., Каргаполова И.Н. Размывы трубопроводов в верхних бьефах гидроузлов. Гидротехника. 2010. №2 (19). С.41-43.
4. Sumer B. M., Truelsen C., Sichmann T., Fredsoe, J. Onset of scour below pipelines and self-burial. Coastal Engineering. 2001. Vol. 42. P. 313-335.
5. Дегтярев В.В., Шлычков В.А. Лабораторное и теоретическое исследование динамики размыва речного дна вблизи подводного перехода // Гидротехническое строительство. – 2013. - №8. – С. 21-27.
6. Милитеев А.Н., Базаров Д.Р. Математическая модель для расчета двумерных (в плане) деформаций русел. Водные ресурсы. Т.26. №1. 1999. С. 22-26.
7. Launder, В.Е.; Spalding, D.В. The numerical computation of turbulent flows // Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering. 1974. Vol. 3, No. 2. P. 269–289.