

УДК 622.691.4

А.А. Филатов, начальник Департамента капитального ремонта, ОАО «Газпром»; **А.Д. Никоненко**, генеральный директор, ООО «Подводгазэнергосервис»; **И.И. Велиюлин**, д.т.н., директор; **А.С. Добров**, главный специалист отдела технического сопровождения капитального ремонта магистральных газопроводов, ЭАЦ «Оргремдигаз» ОАО «Оргэнергогаз»; **Э.И. Велиюлин**, д.ф.-м.н., г.н.с., ООО «Эксиком»

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТЕЙ ВОДНОГО ПОТОКА ВБЛИЗИ ОТКРЫТОГО УЧАСТКА РЕЧНОГО ПОДВОДНОГО ПЕРЕХОДА МГ

Устойчивость речных подводных переходов с протяженными открытыми участками во многом определяется характером их обтекания водным потоком. В представленной работе эксперимент по обтеканию проведен в модельном варианте с помощью исследовательского комплекса «гидрометрический лоток» и модели трубопровода с кольцевыми утяжелителями, построенной с соблюдением геометрического подобия с натурным аналогом. По результатам локальных топографических измерений скоростей течения в потоках перед моделью трубопровода и за ней получены их распределения по длине модели. Проанализированы особенности наблюдавшегося обтекания и рассмотрена роль в обтекании футеровочного покрытия на участках трубопровода между утяжелителями.

На открытом участке речного подводного перехода в результате воздействия движущейся водной среды возникают квазистатические и динамические нагрузки, которые при определенных условиях приводят к перемещениям трубопровода и его колебаниям.

При оснащении подводного трубопровода балластирующими устройствами увеличивается площадь его эффективного сечения, а главное, изменяется форма профиля обтекания трубопровода водным потоком. Это существенно влияет на характеристики водного потока вблизи открытого участка подводного перехода и, следовательно, на формирование лобового сопротивления трубопровода. В научно-технической литературе нет указаний о каких-либо исследованиях обтекания трубопроводов с балластирующими устройствами различных форм, среди которых практический интерес для строительства и ремонта речных подводных переходов представляют трубопроводы с кольцевыми утяжелителями, составляющие по

нормативным требованиям русловую часть переходов.

Исследования процессов обтекания на реальных реках или в водоканалах представляют собой трудоемкую и высокозатратную проблему. Задачи такого рода успешно могут решаться с помощью гидрометрических лотков, воспроизводящих условия реальной реки. Эксперименты проводятся на построенных в определенном масштабе моделях обтекаемых объектов, и результаты переносятся на реальные объекты с применением теоремы подобия Рейнольдса [1]. Характер обтекания в значительной степени определяется полем скоростей течения и распределением давлений вблизи обтекаемого объекта.

В представленной работе приведены результаты исследования распределения скоростей водного потока вблизи модели трубопровода с кольцевыми утяжелителями. Измерения проводились с помощью экспериментального комплекса, построенного для изучения процессов обтекания моделей трубо-

проводов и различных устройств, применяемых в подводных переходах.

Он состоит из следующих основных блоков:

- несущего стального каркаса;
- водонесущего рабочего блока (лотка) с расходным и приемным баками;
- трубопроводной системы водоснабжения с насосом и струйным эжектором;
- электронного блока плавного пуска с дистанционным управлением мощностью насоса для изменения скорости водного потока.

Водонесущий блок (лоток) имеет размеры 12820 × 562 × 562 мм, емкости баков: 1,6 м³ – расходного и 2,25 м³ – приемного.

Блок трубопроводной системы водоснабжения включает:

- центробежный консольный насос с подачей 315 м³/ч;
- струйный насос (гидроэжектор) с диффузором и камерой смешения с расчетным преобразованием подачи до 600 м³/ч.

Блок обеспечивает циркуляцию водного потока по замкнутой системе, не огра-

ничивая время проведения экспериментальных измерений и испытаний. Электронный блок плавного пуска системы циркуляции воды с выносным пультом дистанционного управления частотой тока асинхронного двигателя центробежного насоса позволяет регулировать мощность насоса от 30 до 100% его номинальной мощности. Модель трубопровода с кольцевыми утяжелителями построена с соблюдением геометрического подобия с натурным аналогом. Она представляет собой заглушенный отрезок трубы (длина – 500 мм, диаметр – 110 мм) с двумя кольцевыми утяжелителями (длина – 200 мм, диаметр – 150 мм), насаженными на несущую трубу с просветом между ними 100 мм. Отрезок трубы в просвете между утяжелителями покрыт футеровочными деревянными рейками размером 100×3×3 мм. В эксперименте модель располагалась перпендикулярно направлению течения воды в лотке так, что расстояние h между нижним краем утяжелителей и дном лотка было меньше эффективного диаметра D модели, т.е. $h < D$.

Поля скоростей потока, возмущенного присутствием модели трубопровода, изучались путем локальных топографических измерений. Для этого была изготовлена «маска», повторяющая диаметрально сечение модели, перпендикулярное потоку. На поверхность «маски» нанесена сетка, разбивающая ее на 136 пронумерованных локальных участков.

Перед измерением скорости на каждом локальном участке выставлялась «маска» параллельно вертикальному продольному диаметральному сечению модели для выбора необходимой позиции измерительной микровертушки, затем «маска» выводилась из лотка и производилось измерение скорости на выбранном участке. Такие измерения последовательно на всех локальных участках, соответствующих аналогичным участкам модели, проведены в потоке перед моделью (на расстоянии $6D$) и за ней (на расстоянии $3D$). Для измерений использовалась микровертушка ГМЦМ-1 с цифровой индикацией мгновенной и осредненной скоростей на мониторе. Примененный подход к измерениям скоростей с их топографической привязкой к локальным участкам модели позволил получить распределение скоростей в обтекающей модель потоке при раз-

личных задаваемых скоростях выхода потока из расходного бака лотка и рассмотреть роль отдельных элементов модели в процессе обтекания.

На рис. 1 и 2 представлены полученные распределения скоростей по длине модели трубопровода, соответствующие локальным участкам, расположенным у верхней кромки модели (а), по ее центру (б) и у нижней кромки модели (в). Сопоставление распределений скоростей в потоках перед обтекаемой моделью (рис. 1) и за ней (рис. 2) позволяет

судить о характере обтекания и лобовом сопротивлении реальных трубопроводов с кольцевыми утяжелителями. В первую очередь обращает на себя внимание, что в отличие от обтекания тел цилиндрической формы в нашем случае проявляется значительная неравномерность по длине трубопровода изменения скорости потока за трубопроводом. Основной особенностью при этом являются рост скорости потока на участках, соответствующих расположению утяжелителей, и ее падение,

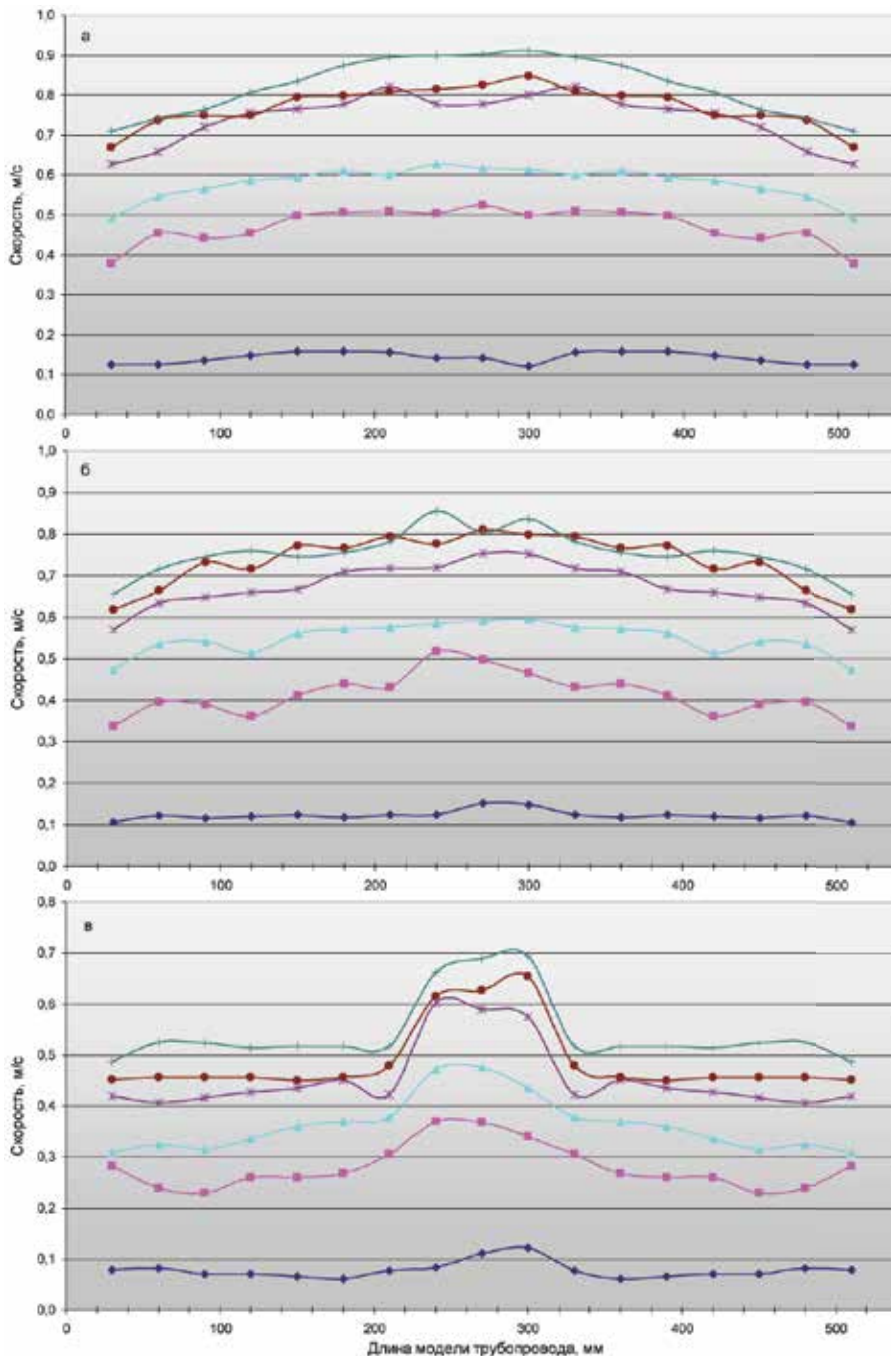


Рис. 1. Распределение скоростей по локальным участкам вдоль длины модели в потоке перед моделью на глубинах: а – верхней кромки, б – осевой линии, в – нижней кромки модели при разных задаваемых скоростях выхода потока из расходного бака лотка

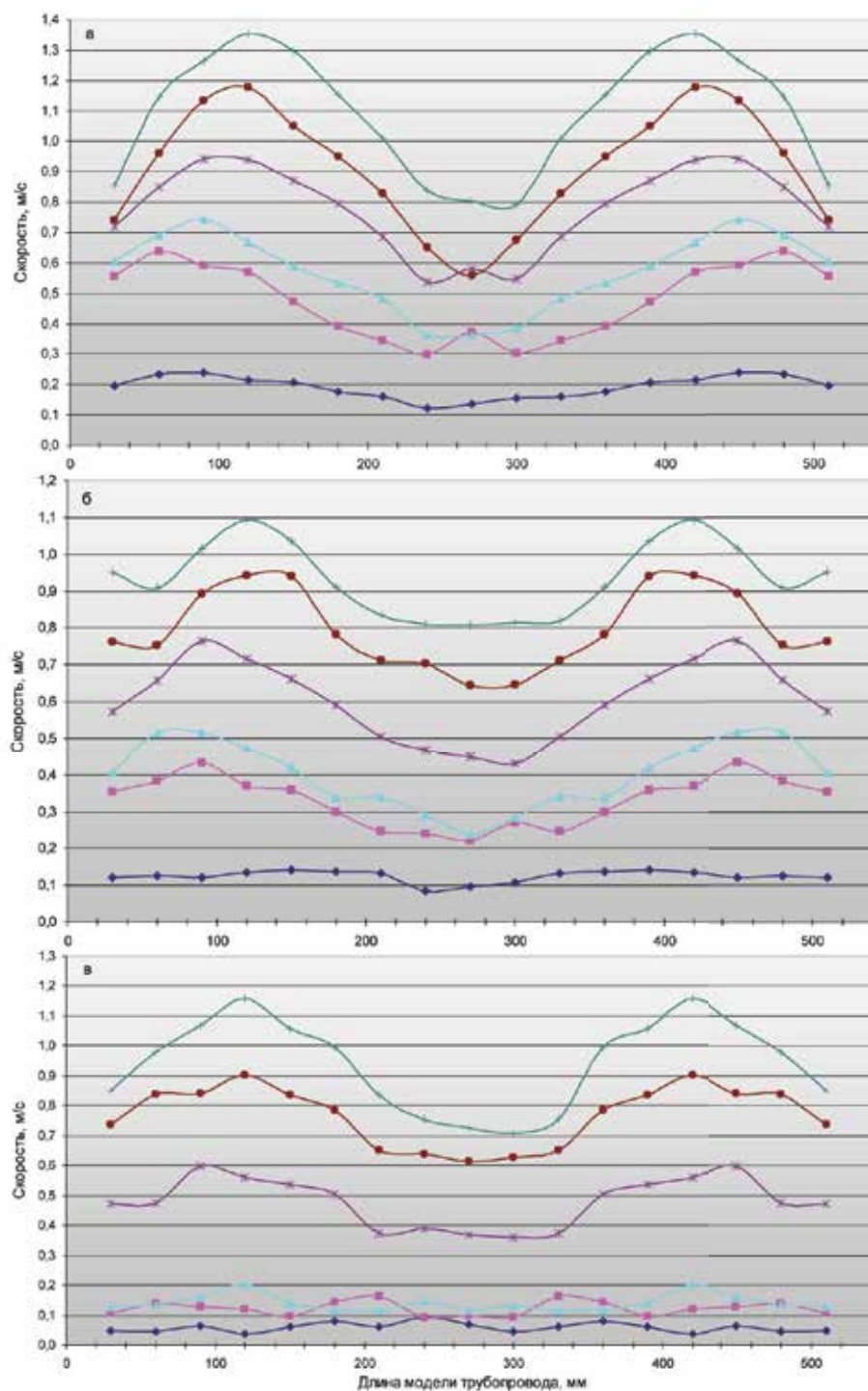


Рис. 2. Распределение скоростей по локальным участкам вдоль длины модели в потоке за моделью на глубинах: а – верхней кромки, б – осевой линии, в – нижней кромки модели при тех же задаваемых скоростях выхода потока из расходного бака, что и на рис. 1

приходящееся на участок, соответствующий расположению просвета между утяжелителями. Это означает, что именно этот участок трубопровода создает наибольшее сопротивление обтеканию, несмотря на меньший по сравнению с утяжелителями его диаметр. Наблюдавшаяся картина обтекания может быть объяснена сочетанием следующих обстоятельств.

Форма профиля обтекания модели создает предпосылки для смещения линий водотока от боковых частей потока к его середине, т.е. к зоне расположения просвета между утяжелителями. Как следствие при этом в потоке перед трубопроводом формируется канал с растущей по потоку плотностью линий водотока. Это хорошо проявляется на графиках рис. 1в на фоне общего падения скоростей у

нижней кромки модели из-за взаимодействия потока с шероховатым дном лотка. За трубопроводом линии водотока начинают расширяться по потоку, и скорость за участком просвета между утяжелителями падает, а за утяжелителями растет. Измерения при более высоких скоростях подачи воды из расходного бака показали, что по мере турбулизации потока картина обтекания усложняется и отмеченные закономерности не проявляются. Второе обстоятельство связано с футеровочным покрытием из деревянных реек на участке трубопровода между утяжелителями, из-за которого существенно увеличивается составляющая лобового сопротивления, определяемая вязкостью воды и состоянием обтекаемой поверхности. Обоснованность такого объяснения подтверждается результатами работы [2], где экспериментально показано, что зависимость от числа Рейнольдса коэффициенты лобового сопротивления труб, футерованных деревянными рейками, значительно превосходят соответствующие коэффициенты для цилиндров как с гладкой, так и с шероховатой поверхностями. Футеровка подводного трубопровода деревянными рейками, выполняя свою необходимую защитную роль, при размыве трубопровода начинает проявлять нежелательные свойства – ведет к росту лобового сопротивления на участках между утяжелителями (а следовательно, и локального напряжения) и, кроме того, создает некоторую дополнительную плавучесть. Касаясь практической стороны полученных результатов, отметим, что технологически целесообразно отказаться от футеровочных покрытий участков трубопроводов между утяжелителями и снабжать ими только те участки трубопровода, на которые устанавливаются утяжелители. Это, наряду с ожидаемым улучшением обтекания и уменьшением плавучести, даст немалую экономию расходного материала.

Литература:

1. Кухлинг Х. *Справочник по физике.* – М.: Мир, 1982. – 519 с.
2. Бородавкин П.П., Березин В.Л. *Соружения магистральных газопроводов.* – М.: Недра, 1977. – 407 с.

Ключевые слова: газопровод, лобовое сопротивление, обтекание, гидрометрический лоток, футеровка.



ДЕЛАН

**Разработка и производство защитных
антикоррозионных покрытий
для нефте- и газопроводов,
оборудования КС и ГРС**



117418, г. Москва, ул. Профсоюзная, д. 23
Тел. (495) 786-25-35

www.delan.su

e-mail: info@delan.su