

2. Крупей С. А., Полихат З.С. Обработка призабойных зон скважин методом имплозии // Нефтяное хозяйство. 1995. № 2. с. 41-45
3. А.С. 156127 СССР, МКИЗ E21B43/18 Сосуд для обработки призабойной зоны скважины методом имплозии / С.И. Севостьянов, П.А. Радкевич, И.М. Павленков. № 801759/22-3; Заявлено 09.11.62; Опубл. в 1963 г. Бюл. №15. 2с.: ил.

О ГИДРОДИНАМИКЕ ВЯЗКОГО ПОТОКА В КРИВОЛИНЕЙНОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ТРУБЕ

В.П. Диденко

Научный руководитель - профессор С.Н. Харламов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Цель - в работе проведен анализ по данным эксперимента [3] особенностей математического моделирования пространственно развивающегося турбулентного потока в трубе с изгибом 90°.

В работе проведен анализ по данным эксперимента [3] по математическому моделированию пространственно развивающегося турбулентного потока в трубе с изгибом 90°.

Введение. Хорошо известно, что почти все реальные течения высоковязких сред в промышленных энергетических устройствах турбулентные. Они часто сопровождаются сложными переходными процессами, вызванными изменениями внутренней поверхности стенки и молекулярной структуры потока, интенсивными пульсациями теплогидродинамических параметров, перемешиванием и химической активностью компонент смеси в отдельных рабочих участках трубопроводных систем произвольного поперечного сечения.

Турбулентное течение в изгибах трубы под углом 90° встречается во многих инженерных областях и вызывает значительный интерес в последние годы. В последние годы многие экспериментальные исследования [2] были посвящены колебаниям потока, связанным с термической и механической усталостью в промышленных трубопроводных системах, а численные исследования ориентированы на более фундаментальные вопросы, касающиеся колебаний вторичного потока при изгибе трубы.

Будем рассматривать течение в рамках прямого численного моделирования на базе уравнений подобия в трубах, [3]:

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0, \quad (1)$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{1}{Re_D} \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j \partial x_j} \quad (2)$$

Некоторые результаты представлены на рис. 1 и 2 (сведения взяты из [3]). Для изучения эффектов течения и его развития вводится дополнительная координата: S определяется как расстояние в направлении потока после выхода из изгиба. Начало координат находится на выходе потока из изгиба (S/D = 0), как показано на рис. 1. Условие прилипания было применено к стенке трубы, а условие истечения при нулевом напряжении - на выходе. [3]

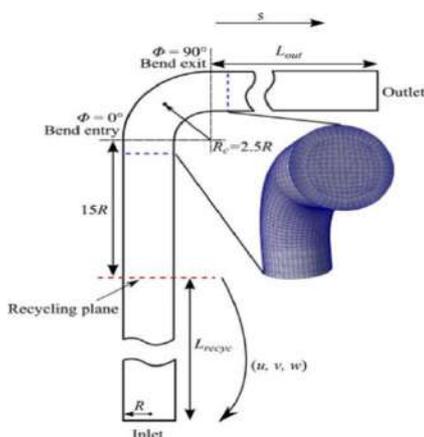


Рис.1 Схема области вычислений [3]

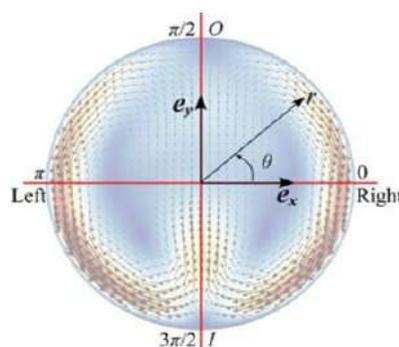


Рис.2 Усредненная по времени величина движения потока в плоскости скорости ($\sqrt{u_T^2 + u_S^2}$) и векторы скорости на 1D ниже изгиба трубы (S/D=1) [3]

Анализ данных [3] показывает, что усредненное по времени движение потока на расстоянии 1D после выхода из изгиба трубы (рис. 1) имеет пару встречно вращающихся вихрей. Эти вихри симметричны относительно оси симметрии. Вихревые потоки по очереди доминируют в поле мгновенного потока. Также, в [3] было исследовано нестационарное движение потока после прохождения изгиба трубы.

Установлено, что в усредненном по времени поле потока (рис. 2) имеются точки застоя движений потока в плоскости. Из-за колебаний вихрей точки застоя также меняются. На рис. 3 и 4 показаны изменения во

СЕКЦИЯ 17. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ ТРАНСПОРТИРОВКИ И ХРАНЕНИЯ НЕФТИ И ГАЗА. ПОДСЕКЦИЯ 1. МЕТОДЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ТРАНСПОРТА И ХРАНЕНИЯ УГЛЕВОДОРОДНОГО СЫРЬЯ

времени азимутальной скорости в первой точке сетки и на расстоянии 0,05R от стенки трубы соответственно. Граница между движениями по часовой стрелке (красный) и против часовой стрелки (синий) указывает на азимутальное положение точки застоя.

Анализ библиографических данных [1-3], показывает, что при определении положения внешней точки застоя неточно работает LES подход.

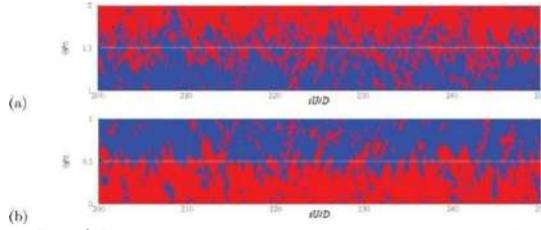


Рис.3 *Временная зависимость азимутальной скорости в первой точке от стенки трубы: (a) $1 \leq \theta/\pi \leq 2$ и (b) $0 \leq \theta/\pi \leq 1$ [3]*

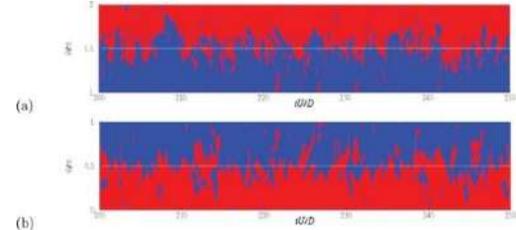


Рис.4 *Временная зависимость азимутальной скорости на расстоянии 0,05 R от стенки трубы: (a) $1 \leq \theta/\pi \leq 2$ и (b) $0 \leq \theta/\pi \leq 1$ [3]*

В [3] также было выявлено, что для разных компонентов скорости сильные флуктуации появляются в разных местах. Для продольной компоненты скорости, ясно видны флуктуации с большой амплитудой в пределах $\{0 < y/R < 0,5\}$. Это может быть связано с выпадением слоя сильного сдвига при $\{0 < y/R < 0,5\}$. Аналогично, сильное колебание вокруг $r/R = -0,5$ для вертикальных колебаний скорости связано со слоем сдвига в $\{-0,7 < y/P < -0,4\}$. Доминирующая частота в этой зоне составляет около $St = 0,2-0,3$, и эта частота может быть отнесена к неустойчивости слоя сдвига. Для горизонтальных колебаний скорости более сильные колебания расположены в $\{-1 < y/R < -0,5\}$. Это связано с альтернативными движениями вихрей вокруг плоскости симметрии, что было рассмотрено в работе [1].

Чтобы исследовать колебания потока на выходе из изгиба, сила давления, действующая на стенку трубы, рассчитывается вдоль направления потока, [3]:

$$G(s) = R \int_0^{2\pi} p(s, \theta) n d\theta, \quad (3)$$

где n - вектор нормали к стенке трубы. В этом исследовании горизонтальная составляющая силы давления на стенку трубы контролируется:

$$F = G \cdot e_x \quad (4)$$

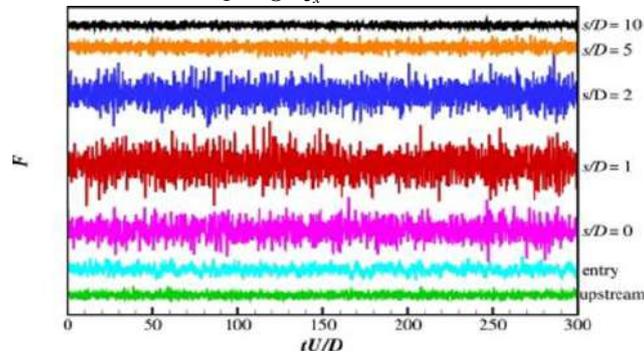


Рис.5 *Горизонтальная составляющая силы давления на стенку при разных поперечных сечениях трубы: зеленая, зона перед изгибом; циановый - вход в изгиб; пурпурный, $S/D = 0$ (выход из поворота); красный, $S/D=1$; синий, $S/D=2$; оранжевый, $S/D=5$; и черный, $S/D = 10$ [3]*

Наблюдаются небольшие колебания силы давления в прямом участке трубы выше по изгибу. Анализируя литературу [1,2,3] становится ясно, что эти небольшие колебания усиливаются изгибом. На выходе изгиба ($S/D = 0$), колебания силы уже намного больше, чем значения при прямой трубе. Они становятся еще сильнее после изгиба, прежде чем они уменьшаются на большом расстоянии от выхода из изгиба ($S/D = 5$). Наблюдается, что колебание силы давления достигает своего максимального значения при $S/D = 1$.

Выводы. Анализируя результаты [3], а также библиографические данные [1,2] можно сказать, что использующиеся в настоящее время математические модели для анализа движения потока в криволинейных трубах не позволяют успешно смоделировать поток. Так, точки застоя трудно определить, а их положение зависит от места измерения; до сих пор остается неясным происхождение эффекта вторичного движения. По данным работы [3] так же можно сказать, что максимальное значение колебания силы давления (на участке после выхода потока из изгиба) приходится на область, находящуюся на расстоянии $1D$ после изгиба.

Литература

1. Hufnagel L., Canton J., Örlü R., Marin O., E. Merzari, Schlatter P. The three-dimensional structure of swirl switching in bent pipe flow. *J. Fluid Mech.*, 835, 2018, Pages 86-101
2. Röhri R., Jakirlić S., Tropea C. Comparative computational study of turbulent flow in a 90° pipe elbow. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 55, October 2015, Pages 120-131
3. Zhixin Wang., Ramis Örlü, Philipp Schlatter, Yongmann M.Chun, Direct numerical simulation of a turbulent 90° bend pipe flow. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 73, October 2018, Pages 199-208

ПРИМЕНЕНИЕ СПЛАЙН ИНТЕРПОЛИРОВАНИЯ В ВОПРОСАХ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ И ПРОЧНОСТНЫХ РАСЧЁТОВ ЛИНЕЙНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Д. В. Ефимов

Научный руководитель - доцент О. В. Брусник

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Применение сплайн-интерполяции при построении модели позволяет увеличить точность расчётов по естественным причинам. Анализ конструкций с использованием МКЭ является в настоящее время основным инструментом для прочностных и других видов расчетов конструкций. Целью работы является получение 3D - модели исследуемого участка с дефектами внутренней части, а также анализ, полученных в ходе моделирования данных. На основании полученной информации можно сделать вывод о том, допустима ли дальнейшая эксплуатация этого участка или его следует заменить.

Существует множество исследований НДС прямолинейных участков трубопровода, однако они не затрагивают истинную геометрию модели и не учитывают грунт при расчёте. Надежность нефтепровода зависит от множества различных факторов, негативно влияющих как на их состояние в целом, так и на отдельные участки. Обычно, это большие значения напряжений по Мизесу в районах коррозионных повреждений. В процессе длительной эксплуатации магистральных трубопроводов их внутренняя поверхность подвержена образованию дефектов, которые приводят к утонению стенок. Регулярный контроль напряжённо деформированного состояния трубопровода является неотъемлемой частью его долгой и безопасной эксплуатации. Появление дефектов приводит к ухудшению характеристик конструкции и увеличивает риск аварии [1]. Одним из способов контроля напряжённо-деформированного состояния трубопровода является расчёт напряжений при помощи МКЭ. Основной проблемой данного метода является отсутствие стандартов. Это, в свою очередь, ведёт тому, что компании, занимающиеся обслуживанием линейной части трубопровода вынуждены выбирать способы расчёта и нести ответственность за его эффективность. В настоящей работе в отличие от общепринятого подхода предлагается выполнить анализ напряжений на построенной модели в среде inventor.

Таблица 1

Общие характеристики и параметры исследуемого участка трубопровода

Диаметр трубопровода (наружный), мм	Толщина стенки трубы, мм	Проблемный участок (отметка), м	Трубопровод изготовлен из стали	Рабочее давление, МПа
1240	10	159	17Г2С	4

Модель представляет собой сдвиг по траектории, являющейся профилем в масштабе 1:1 (рис. 1). Перенос профиля в траекторию напрямую невозможен из-за отсутствия возможности экспорта значений высот. Поэтому, средствами векторной графики профиль был отрисован и переведён в нужный масштаб. При съёме высот в среде Inventor было применено сплайн-интерполирование, результатом которого стала непрерывная траектория трубопровода. Далее, были построены грунт и трубопровод. Благодаря данным, полученным в ходе внутритрубной диагностики, нанесены дефекты линейной части, с учётом их размеров и расположения.

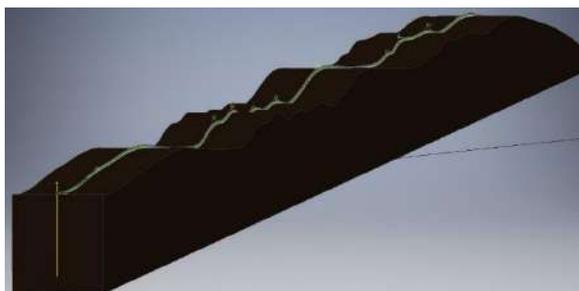


Рис.1 Общий вид модели