



Яхно О.М., д.т.н., проф., Семинская Н.В., к.т.н, доц.

НТУУ "КПИ", г. Киев, Украина

ФОРМИРОВАНИЕ ПУЛЬСАЦИОННОГО ТЕЧЕНИЯ В ГИДРОДИНАМИЧЕСКОМ НАЧАЛЬНОМ УЧАСТКЕ

Аналитическому исследованию развития течения ньютоновских и неньютоновских жидкостей на гидродинамическом начальном участке в трубах и каналах посвящены работы многих авторов. Подавляющее большинство работ относится к исследованию кинематических и динамических параметров потока на начальном участке цилиндрических каналов.

Совершенствование гидравлических систем, предназначенных для управления технологическими процессами, обуславливает необходимость создания гидравлических систем, где дестабилизация движения жидкости является основным определяющим фактором. Так гидравлические системы, характеризующиеся большой разветвленностью, сложностью конфигурации, а также с имеющим место наличием изменения расхода по длине, широко применяют в гидротехнике, металлургии, энергетике, химической, угольной и пищевой промышленности. В условиях дестабилизации движения жидкости работают распределительные трубопроводы, гидролинии при техническом водоснабжении, нефтепроводы которые осуществляют транспортировку нефти.

При проектировании и эксплуатации современных разветвленных трубопроводов, важно учитывать вопросы обеспечения надежности работы и долговечности напорных трубопроводов и регулирующей аппаратуры, предотвращения возможность возникновения гидравлического удара в системе.



Необходимо учесть, что при дестабилизации возникает необходимость учитывать объемные локальные силы инерции, действующие на жидкость, силы инерции от конвективного ускорения наряду с силами вязкого трения для участков канала с изменяющимся расходом. Все эти факты указывают на то, что течение жидкости в магистрали можно рассматривать как не стабилизированное, а следовательно для его описания использовать модель гидродинамического начального участка.

В связи со сложностью математического анализа уравнений движения, связанной с их нелинейностью, обусловленной присутствием инерционных членов от конвективного ускорения, и учитывая, что получение такого решения уравнения движения весьма затруднено, а линеаризованные уравнения не учитывают особенностей течения, их решение проведено с использованием численных методов решения. Наиболее строго к решению поставленной задачи подошел Тарг С.М.

$$\frac{2\Delta p}{\rho u_{cp}^2} = \frac{8 \cdot Z_n}{Re \cdot R} + \frac{1}{3} - 4 \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{\beta_k^2} e^{-\frac{\beta_k^2 Z}{Re \cdot R}}$$

Как известно на начальном участке движение частиц жидкости в пристенной области замедлено, в результате действия сил вязкого трения, что приводит к оттеснению части жидкости из пристенной области в центральную часть канала и падению давления. Вследствие этого наблюдается ускорение потока жидкости в его центральной части. Торможение потока у стенки и ускорение в центральной части приводит к деформации профиля скорости вдоль канала. По мере движения потока вдоль канала интенсивность процесса перемещения жидкости от стенок к центру потока снижается. При этом область замедления потока возрастает вдоль канала, а область ускоренного течения (ядро потока) уменьшается, и поток постепенно приближается к состоянию, при котором ядро уменьшается до нуля, а течение стабилизируется. На начальном участке наблюдается значительный перепад давлений по сравнению



с участком стабилизированного течения, который можно представить, как сумму двух составляющих - перепада давления при стабилизированном движении жидкости Δp_{cm} при условии отсутствия отбора расхода по длине и перепада давления вызванного влиянием сил инерции от конвективного ускорения $\Delta p_{ин}$:

$$\Delta p = \Delta p_{cm} + \Delta p_{ин}$$

Величина $\Delta p_{ин}$ включает в себя учет $\delta p_{Q \neq const}$ перепада давления за счет наличия отбора жидкости (т.е. не стабилизированное течение), а так же $\delta p_{Q \neq const, \frac{1}{R} \neq 0}$ перепад давления за счет наличия кривизны канала (нестабилизированное течение в криволинейном канале).

Перепад давления на прямолинейном участке трубы длиной Z с дискретным отбором жидкости по длине можно определить по формуле Дарси-Вейсбаха,

$$\delta p_{Q \neq const} \approx \lambda \frac{Z_0 - kR}{2R} \frac{\rho u_0^2}{2} .$$

где $Z = Z_0 - kR$

При наличии пульсаций на начальном участке, поле скоростей может быть представлено как результат наложения на параболический закон, соответствующий стабилизированному ламинарному течению, пульсационной составляющей, которая определяет вид и характер создаваемых пульсаций.

На рис., в качестве примера построена эпюра для значения параметра Уомерсли $Z = 15$ ($R = 0,0015$ м, $\nu = 10^{-6}$ м²/с, $\omega = 300$ Гц), в различные моменты времени t . Задаваясь значениями частоты, параметрами канала и свойствами жидкости можно изменять эпюру скоростей.

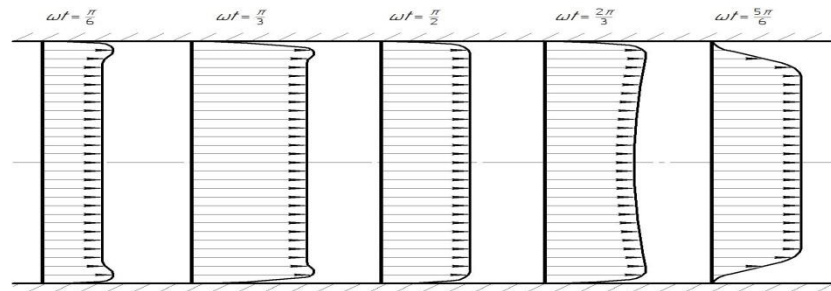


Рис. Эпюры скоростей в сечении цилиндрического канала в различные моменты времени, при значении параметра $Z = 15$.

Согласно эпюрам, можно заключить, что при наложении пульсаций на поток жидкости в канале изменяется распределение скорости по сечению. Происходит увеличение скорости потока вблизи стенок канала, что приводит к более равномерному распределению скорости по сечению и формированию на выходе из насадка эпюры скоростей близкой к прямоугольной. Это способствует увеличению компактности и устойчивости струи.