

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ УТЕЧКИ В ВОДОПРОВОДЕ

Жуань С.¹, Мамонова Т.Е.²

¹Томский политехнический университет, Инженерная школа информационных технологий и робототехники, А2-36, e-mail: syren@tpu.ru

²Томский политехнический университет, Инженерная школа информационных технологий и робототехники, доцент, e-mail: stepte@tpu.ru

Введение

В настоящее время проблема определения утечки в городском водоснабжении является достаточно актуальной. По имеющимся данным, в Жилищном фонде величина потерь воды составляет в среднем по России 18–27 % общего водопотребления, а в отдельных городах достигает 40 %. Утечка является одним из главных факторов, определяющих высокий уровень потерь воды в коммунальных системах водоснабжения большинства российских городов [1].

Целью данной работы является анализ влияния диаметра и расположения утечки на изменение скорости движения и давления жидкости в прямолинейном водопроводе при разных диаметрах и расположениях утечки. Приведены результаты модельных экспериментов, проведенных в интегрированной среде численного моделирования COMSOL Multiphysics.

Основная часть

В данной работе представлена модель прямолинейного водопровода с разными местоположением и размерами утечек при турбулентном режиме течения жидкости.

Характеризующая величина – число Рейнольдса – представляет собой безразмерную величину, равную отношению инерционных сил к силам вязкого трения в вязких жидкостях [2].

Число Рейнольдса также является критерием подобия течения вязкой жидкости. Число Рейнольдса определяется следующим соотношением:

$$Re = \frac{\rho U_0 D}{\mu}, \quad (1)$$

где ρ – плотность жидкости, $\text{кг}/\text{м}^3$; U_0 – скорость потока жидкости, $\text{м}/\text{с}$; D – диаметр цилиндра, м ; μ – динамический вязкость, $\text{Па} \cdot \text{с}$.

С учетом формулы, указанной выше, в среде COMSOL Multiphysics были проведены модельные эксперименты.

При проведении таких экспериментов в первую очередь необходимо создать модель для потока жидкости и обтекания цилиндра. В таблице 1 представлены параметры модели для данного исследования. Модель участка трубопровода в среде COMSOL Multiphysics представлена на рисунке 1.

Таблица 1

Параметры трубопровода и перекачиваемой жидкости

Параметры	Значение
Средняя входная скорость жидкости, U_0 , м/с	1
Диаметр трубы, H , м	0,4
Длина трубы, W , м	2,2
Радиус цилиндра, R , м	0,025; 0,05; 0,1
Плотность жидкости, ρ , $\text{кг}/\text{м}^3$	1000
Динамическая вязкость, μ , $\text{Па} \cdot \text{с}$	0,00089
Число Рейнольдса, Re	4,49E+05
Расположение утечки, M	0,2; 1; 2;

На рисунке 1 видно, что утечка располагается в середине трубопровода с размером $R = 0,025$ м, длина прямолинейного водопровода равняется 2,2 м, его диаметр составляет 0,4 м. В таблице 1 представлены разные значения параметров утечки. Суть данного исследования заключается в том, что увеличение утечки влияет на скорость и давление водопровода.

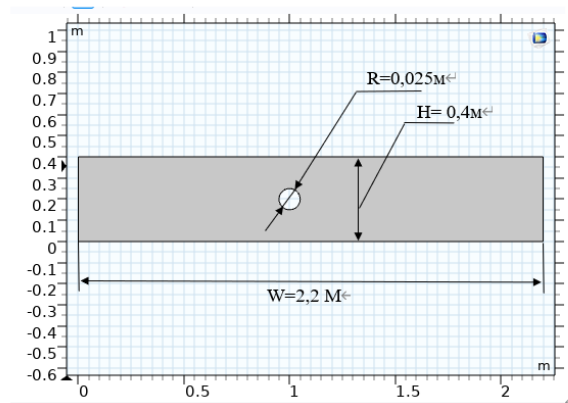


Рис. 1. Модель участка трубопровода в среде COMSOL Multiphysics

Следует отметить, что число Рейнольдса, вычисляемое по формуле (1), зависит от диаметра трубы, плотности и скорости жидкости, динамической вязкости. Соответственно, режим течения жидкости определяется по числу Рейнольдса. На рисунке 2 указано изменение скорости движения жидкости в трубопроводе при различных значениях диаметра утечки.

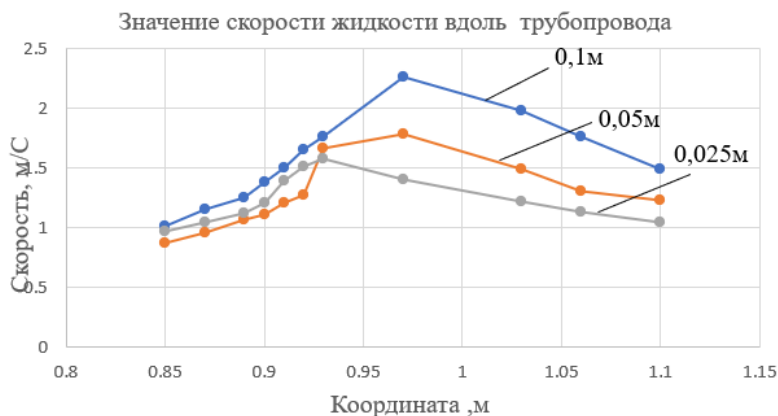


Рис. 2. Значение скорости жидкости вдоль трубопровода

Как видно из рисунка 2, скорость течения после утечки уменьшается, а перед утечкой увеличивается. Аналогично, с увеличением размера утечки максимальная скорость на прямолинейном трубопроводе увеличивается, однако направление изменения скорости такое же, как изменение минимального размера.

На рисунке 3 показаны графики изменения давления в трубопроводе при различных значениях диаметра утечки.

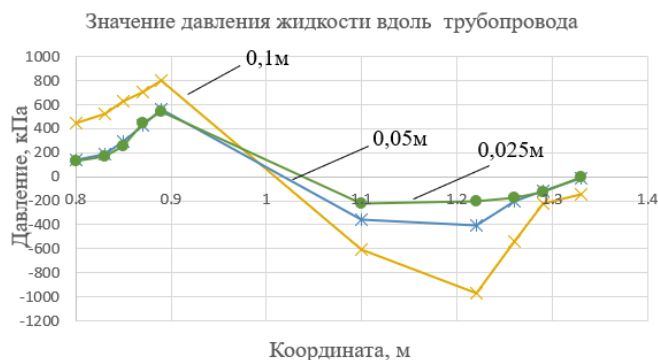


Рис. 3. Значение давления жидкости вдоль трубопровода

По данным, полученным в ходе экспериментов и указанным на рисунке 2 и рисунке 3, можно сделать вывод о том, что давление и скорость движения жидкости в трубопроводе при наличии утечки на точке утечки достигают максимальной величины, это позволяет обнаружить место утечки в системе водоснабжения.

Также был выполнен ряд экспериментов при различных расположениях утечки и различных её диаметрах. Тенденция, показанная выше, не поменялась, изменялись абсолютные значения скорости и давления вдоль трубопровода. Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты экспериментов

№ п.п.	Координата утечки, м	Диаметр утечки, мм	Скорость, м/с		Давление, кПа	
			до утечки	после утечки	до утечки	после утечки
1.	0,2	0,025	0,89	0,37	578	1,85
2.		0,05	0,61	0,29	670	4,78
3.		0,1	0,86	0,19	1177	-237
Точки до утечки и после			$x_1 = 0,15$ м	$x_2 = 0,35$ м	$x_1 = 0,15$ м	$x_2 = 0,35$ м
4.	1,0	0,025	1,0	0,72	58	-2,2
5.		0,05	0,98	0,47	118	-31
6.		0,1	0,9	0,26	408	-788
Точки до утечки и после			$x_1 = 0,9$ м	$x_2 = 1,2$ м	$x_1 = 0,9$ м	$x_2 = 1,2$ м
7.	2,0	0,025	0,99	0,82	892	-157
8.		0,05	0,97	0,67	846	-186
9.		0,1	0,89	0,18	869	-211
Точки до утечки и после			$x_1 = 1,9$ м	$x_2 = 2,2$ м	$x_1 = 1,9$ м	$x_2 = 2,2$ м

Заключение

Таким образом, в данном исследовании в результате модельных экспериментов, выполненных в интегрированной среде численного моделирования COMSOL Multiphysics, показано, что при наличии утечки на точке утечки возникает скачок скорости и давления движения жидкости в трубопроводе, что позволяет выявить место утечки в водоснабжении.

Список использованных источников

1. Примин, О. Пути снижения потерь воды / О. Примин // Коммунальный комплекс России: ежемесячный деловой журнал [Электронный ресурс]. – URL: <http://gkhprofi.ru/o-primin-br-puti-snizheniya-poter-vody/> (дата обращения: 20.02.2023).
2. Число Рейнолдса // Элементы большой науки. Фонд развития теоретической физики и математики [Электронный ресурс]. – URL: https://elementy.ru/trefil/21200/Chislo_Reynoldsa (дата обращения: 20.01.2022).