

Гончар Д.Ю.

студент

2 курса магистратуры,

факультет «Интеллектуальных систем и программирования»

Донецкий национальный технический университет

Россия, ДНР, г. Донецк

ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ ПОТЕРЬ НАПОРА В ТРУБОПРОВОДЕ

Аннотация: Статья посвящена гидравлическому расчёту потерь напора на трение по длине трубопровода по формуле Дарси-Вейсбаха с определением коэффициента гидравлического трения по уравнению Колбрука-Уайта и разработке программного комплекса, автоматизирующего данный расчёт. Приводится постановка задачи и итерационная процедура решения неявного уравнения Колбрука-Уайта относительно коэффициента трения. Проведён расчёт для модельного трубопровода при различных расходах: получена зависимость потерь напора от расхода, показан переход от квадратичного закона сопротивления к более сложной зависимости при изменении режима течения.

Ключевые слова: технические науки, гидравлика, потери напора, формула Дарси-Вейсбаха, уравнение Колбрука-Уайта, программный комплекс.

Gonchar D.Yu.

Student

2nd year of magistracy,

Faculty of Intelligent Systems and Programming

Donetsk National Technical University

Russia, DPR, Donetsk

HYDRAULIC CALCULATION OF PRESSURE LOSS IN A PIPELINE

Annotation: The article deals with the hydraulic calculation of friction head losses along a pipeline using the Darcy-Weisbach formula, with the friction factor determined from the Colebrook-White equation, and the development of a software package automating this calculation. The problem is formulated and the iterative procedure for solving the implicit Colebrook-White equation for the friction factor is described. A model pipeline is analyzed at various flow rates: the head loss versus flow rate dependence is obtained, showing the transition from a purely quadratic resistance law as the flow regime changes.

Key words: technical sciences, hydraulics, head loss, Darcy-Weisbach formula, Colebrook-White equation, software package.

Расчёт потерь напора в трубопроводах необходим при проектировании систем водоснабжения, теплоснабжения и технологических трубопроводов для правильного подбора насосного оборудования. Основную сложность представляет определение коэффициента гидравлического трения, который в турбулентном режиме течения находится из неявного уравнения Колбрука-Уайта, не разрешимого аналитически относительно искомой величины «Цитата» [1, с. 112]. Целью настоящей работы является построение итерационной процедуры расчёта коэффициента трения, разработка программного комплекса на её основе и апробация на модельном трубопроводе.

Расчётные формулы гидравлических потерь

Потери напора на трение по длине трубопровода определяются формулой Дарси-Вейсбаха

$$h_f = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

где λ — коэффициент гидравлического трения, L и D — длина и диаметр трубопровода, v — средняя скорость течения. Для турбулентного режима коэффициент λ находится из неявного уравнения Колбрука-Уайта

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \cdot \lg\left(\frac{\Delta}{3,7D} + \frac{2,51}{Re \cdot \sqrt{\lambda}}\right).$$

где Δ — эквивалентная шероховатость стенок трубы, Re — число Рейнольдса. Уравнение решается методом простой итерации: начальное приближение подставляется в правую часть, полученное значение используется для следующего приближения до достижения сходимости «Цитата» [2, с. 98].

Описание программного комплекса

Разработанный программный комплекс включает модуль вычисления числа Рейнольдса по заданному расходу, модуль итерационного решения уравнения Колбрука-Уайта относительно коэффициента трения и модуль расчёта потерь напора с построением графика их зависимости от расхода. Комплекс автоматически определяет режим течения (ламинарный либо турбулентный) и использует соответствующую формулу для коэффициента трения.

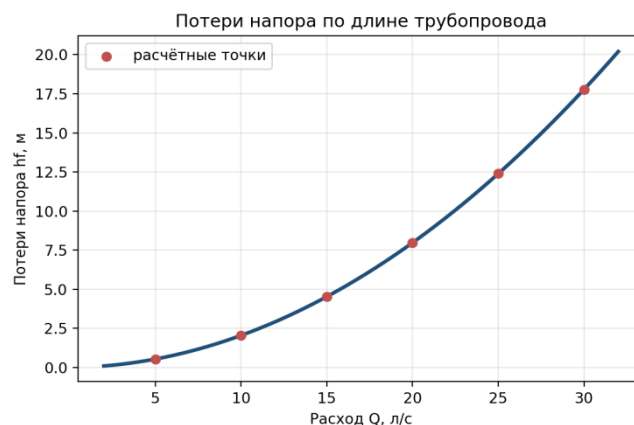


Рисунок 1. Зависимость потерь напора от расхода в трубопроводе

На рисунке 1 показана зависимость потерь напора от расхода для стального трубопровода диаметром 100 мм и длиной 100 м. Близкая к квадратичной зависимость потерь от расхода характерна для турбулентного

режима течения при относительно слабом изменении коэффициента трения в рассмотренном диапазоне расходов.

Апробация на модельном трубопроводе

Расчёт проводился для трубопровода диаметром $D = 100$ мм, длиной $L = 100$ м, шероховатостью $\Delta = 0,2$ мм, при расходах воды от 5 до 30 л/с. Результаты расчёта приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Результаты гидравлического расчёта трубопровода

Q, л/с	v, м/с	Re	λ	h_f, м
5	0,637	63 662	0,0259	0,536
10	1,273	127 324	0,0248	2,047
15	1,910	190 986	0,0243	4,527
20	2,546	254 648	0,0241	7,974
25	3,183	318 310	0,0240	12,389
30	3,820	381 972	0,0239	17,772

Из таблицы 1 видно, что при увеличении расхода в 6 раз (с 5 до 30 л/с) потери напора возрастают примерно в 33 раза, что близко к квадратичной зависимости, ожидаемой для развитого турбулентного режима течения. При этом коэффициент трения λ слабо убывает с ростом числа Рейнольдса — с 0,0259 до 0,0239, то есть менее чем на 8%, что типично для гидравлически шероховатых труб в переходной области турбулентного режима «Цитата» [3, с. 134]. Полученные значения потерь напора необходимы для последующего подбора циркуляционного насоса требуемой напорной характеристики.

Местные гидравлические сопротивления

Приведённый в работе расчёт учитывает лишь потери напора на трение по длине трубопровода, тогда как в реальных трубопроводных системах существенный вклад вносят также местные сопротивления — потери напора на задвижках, отводах, тройниках, сужениях и расширениях сечения. Местные потери вычисляются по формуле $h_m = \xi \cdot v^2 / 2g$, где ξ — безразмерный коэффициент местного сопротивления, зависящий от типа и

геометрии местного сопротивления и определяемый по справочным таблицам «Цитата» [2, с. 156]. Для протяжённых трубопроводов с относительно небольшим числом местных сопротивлений (задвижек, поворотов) потери на трение по длине, как правило, доминируют в общем балансе потерь напора, однако для коротких трубопроводов с насыщенной арматурой (например, обвязки насосных станций) местные потери могут составлять значительную, а иногда и преобладающую долю от общих потерь.

Разработанный программный комплекс в его текущей реализации ориентирован на расчёт потерь по длине трубопровода; включение модуля расчёта местных сопротивлений с библиотекой типовых коэффициентов ξ для стандартной трубопроводной арматуры является практически значимым направлением его дальнейшего развития, необходимым для получения полной гидравлической характеристики реальной трубопроводной сети.

Выбор насосного оборудования по результатам расчёта

Полученная в результате расчёта зависимость потерь напора от расхода представляет собой так называемую характеристику трубопроводной сети, которая используется совместно с напорной характеристикой насоса (зависимостью развиваемого напора от подачи) для определения рабочей точки системы — точки пересечения обеих характеристик, соответствующей фактическому расходу и напору при совместной работе насоса и трубопровода «Цитата» [1, с. 402]. Поскольку напорная характеристика центробежных насосов, как правило, является убывающей функцией расхода, а характеристика трубопровода — возрастающей (в рассмотренном случае — близкой к квадратичной), пересечение этих двух кривых определяется однозначно. Разработанный программный комплекс может быть дополнен модулем построения совмещённого графика обеих характеристик для визуального определения рабочей точки, что представляет практический интерес при подборе насосного оборудования для конкретной трубопроводной системы на этапе проектирования.

Заключение

В работе построена методика гидравлического расчёта потерь напора на трение в трубопроводе с итерационным определением коэффициента трения по уравнению Колбрука-Уайта, разработан программный комплекс на её основе и проведена апробация на модельном трубопроводе в диапазоне расходов от 5 до 30 л/с. Дальнейшее развитие работы связано с включением в комплекс расчёта местных гидравлических сопротивлений (задвижек, отводов, тройников) и построением полной гидравлической характеристики трубопроводной сети.

Использованные источники:

1. Штеренлихт, Д. В. Гидравлика : учебник для вузов / Д. В. Штеренлихт. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: КолосС, 2004. — 656 с.
2. Идельчик, И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / И. Е. Идельчик. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 1992. — 672 с.
3. Альтшуль, А. Д. Гидравлика и аэродинамика : учебник для вузов / А. Д. Альтшуль, П. Г. Киселёв. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Стройиздат, 1975. — 323 с.