

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ В ГЛАДКИХ ТРУБАХ НА ОСНОВЕ ОБОБЩЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Бухалов А.А., Орехова Е.Е., Андреев В.В.

Нижегородский Государственный Технический Университет им. Р. Е. Алексева, Нижний Новгород, katrin_orehova@rambler.ru

Работа посвящена разработке универсальной методики определения гидравлического сопротивления в гладких трубах при нестационарных режимах течения теплоносителя на основе обобщения имеющихся экспериментальных данных. В результате анализа данных по измерению гидравлического сопротивления было замечено, что вне зависимости от тракта циркуляции, свойств теплоносителя и прочих факторов характерный вид зависимости гидравлического сопротивления от числа Рейнольдса не меняется. Это наблюдение породило идею рассмотреть совместно имеющиеся экспериментальные данные и создать обобщенную зависимость гидравлического сопротивления, которая позволит облегчить работу конструкторов при разработке оборудования с циркуляцией теплоносителя по сложным трактам при нестационарных режимах течения теплоносителя. Помимо имеющихся экспериментальных данных, опубликованных в литературе, предполагалось проводить собственные испытания. Для этих целей была разработана установка, включающая в себя трубопроводы с арматурой и несколько видов характерных гидравлических сопротивлений: внезапное расширение или сужение, повороты, насосы разных типов. С изменением трассы циркуляции теплоносителя меняется набор местных сопротивлений и сопротивление трассы в целом.

Ключевые слова: метод прогнозирования, гидравлическое сопротивление, циркуляционная трасса, потери давления

DEVELOPMENT OF MODELS AND PROCEDURES FOR HYDRAULIC RESISTANCE IN SMOOTH TUBES PREDICTION ON THE BASIS OF THE EXPERIMENTAL DATA GENERALIZATION

Bukhalov A.A., Orekhova E. E., Andreev V.V.

Nizhny Novgorod State University n.a. R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod, e-mail: katrin_orehova@rambler.ru

The work is devoted to development of methods of determination of the hydraulic resistance in smooth tubes by generalization of the available experimental data. The analysis of the data on the measurement of hydraulic resistance, it was noted that regardless of the path circulation, coolant and other factors, the change in hydraulic resistance has the same nature. This phenomenon gave rise to the idea to summarize the available experimental data and to create a generalized dependence of hydraulic resistance, which will facilitate the work of designers in the development of equipments with circulation paths. In addition to the existing experimental data, it is a test. For these purposes was designed and created installation, includes pipes and several kinds of local resistance: the diffuser, the sudden expansion, turns. Cranes allow you to change the route of coolant circulation and, consequently, the set of passable local resistance

Key words: hydraulic resistance, circulation route, pressure losses

При разработке оборудования, включающего в себя тракты циркуляции (парогенераторы, реакторы, трубопроводы и др.), одним из определяемых параметров является гидравлическое сопротивление, показывающее долю скоростного напора, затрачиваемого на преодоление этого сопротивления. Для циркуляционного тракта в качестве гидравлической характеристики рассматривают либо полное гидравлическое сопротивление, рассчитываемое как сумма потерь местных сопротивлений и потерь на трение по длине трассы, либо используют построение зависимости гидравлического

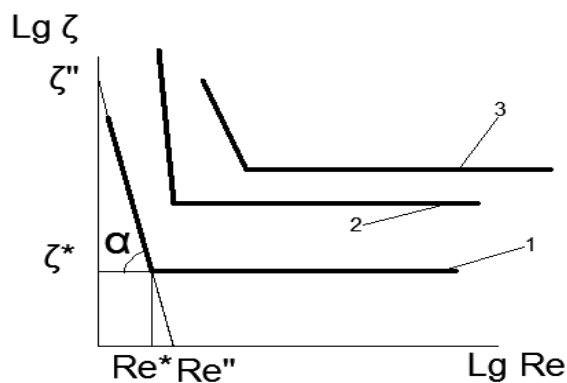
сопротивления от критерия Рейнольдса. Близкое расположение местных сопротивлений друг к другу, их взаимное влияние, сложный характер процессов течения жидкости в области местных сопротивлений не позволяет ограничиваться табличными значениями коэффициентов местных сопротивлений, заставляя уточнять полученные результаты экспериментально, особенно в предположении нестационарных режимов течения жидкости. Все это требует затрат времени и средств при проектировании новых элементов оборудования и систем с трактами циркуляции теплоносителя.

Цель

Целью данной работы является разработка модели и методов прогнозирования гидравлического сопротивления в гладких трубах при нестационарном течении различных сред на основе обобщения экспериментальных данных. Актуальность работы заключается в существующей необходимости создания более простого и дешевого способа прогнозирования гидравлических характеристик при проектировании сложных контуров циркуляции.

При анализе зависимостей коэффициента гидравлического сопротивления от числа Рейнольдса, полученных теоретически и экспериментально, было обнаружено, что угол наклона кривой в левой, круто наклоненной, области, соответствующей сравнительно малым значениям чисел Рейнольдса связан с положением начального участка кривой, расположенного в области больших чисел Рейнольдса [1], [2].

Основной задачей данной работы является разработка методики определения координаты участка кривой в области, соответствующей турбулентному режиму течения по углу наклона кривой в области малых чисел Рейнольдса, не учитывая поведение кривой в области переходного процесса из ламинарного режима течения в турбулентный [3]. Для прогнозирования введем такое понятие, как приведенные параметры гидравлического сопротивления (рисунок 1). Ниже представлены формулы для определения значений приведенных параметров.



1, 2, 3 – различные кривые гидравлического сопротивления, спрямленные в логарифмических системах координат, совместное рассмотрение которых позволяет получить обобщенную зависимость гидравлического сопротивления

Рисунок 1. Схема получения приведенных параметров гидравлического сопротивления

Формулы для получения приведенных параметров обобщенной гидравлической характеристики:

$$\xi_{np} = -\lg\left(\frac{\xi^*}{\xi''}\right) \quad (1)$$

– приведенный коэффициент гидравлического сопротивления;

$$Re_{np} = -\lg\left(\frac{Re^*}{Re''}\right) \quad (2)$$

– приведенный показатель числа Рейнольдса;




$$tg\alpha_{np} = -\lg(tg\alpha) \quad (3)$$

– приведенный угол наклона кривой зависимости коэффициента гидравлического сопротивления от числа Рейнольдса в случае спрямления ее в логарифмической системе координат.

Рассматривая опубликованные в литературе зависимости коэффициента гидравлического сопротивления от числа Рейнольдса для разных видов теплоносителя (газ, жидкий металл, вода и т.д.), а также для различной геометрии канала можно видеть, что указанные зависимости в общем случае обладают определенным сходством. Помимо описанных в литературе экспериментальных данных, в данной работе использовались данные, полученные авторами. Для получения дополнительных экспериментальных данных, была создана экспериментальная установка. Установка представляет собой несколько контуров циркуляции теплоносителя, в которые входят различные местные сопротивления: конфузор (диффузор), повороты, внезапное расширение, насосы. Установка оснащена манометрами, что позволяет фиксировать падение давления на участке циркуляции. С помощью кранов можно изменять циркуляционные трассы теплоносителя. На рисунке 2 представлена принципиальная схема стенда, в таблице 1 указаны входящие в стенд единицы оборудования.

Таблица 1. Единицы оборудования, входящие в стенд

АК	Аппарат кавитационный
БПС	Бак подготовки теплоносителя
НВ	Насос вихревой

НШ	Насос шестеренный
	Кран шаровый
	Обратный клапан
	Датчик давления

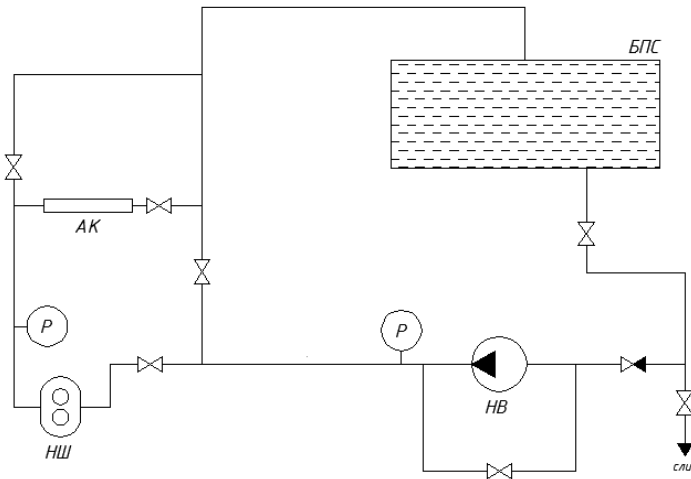


Рисунок 2. Схема циркуляционного стенда

На рисунке 3 представлены графики зависимости гидравлического сопротивления от числа Рейнольдса для разных теплоносителей. Учитывая сходный характер поведения зависимостей гидравлического сопротивления, были предприняты попытки к обобщению имеющихся экспериментальных данных.

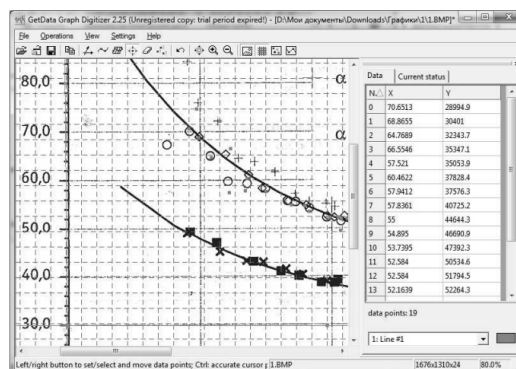


Рисунок 3. Пример графика, для которого проводилась процедура обобщения

По формулам приведения 1, 2, 3, были найдены значения приведенных параметров гидравлического сопротивления для нескольких кривых гидравлического сопротивления. В результате совместного сопоставления этих значений для различных кривых гидравлического сопротивления, в том числе и опубликованные в литературе [4], были получены функциональные зависимости приведенных параметров гидравлического сопротивления. На рисунке 4 представлены зависимости приведенного сопротивления от приведенного угла наклона гидравлической характеристики к оси чисел Рейнольдса ($\zeta_{прив}$ от

$\text{tg}\alpha_{\text{прив}}$), приведенного числа Рейнольдса от приведенного угла наклона гидравлической характеристики к оси чисел Рейнольдса ($\text{Re}_{\text{прив}}$ от $\text{tg}\alpha_{\text{прив}}$) и приведенного сопротивления от приведенного числа Рейнольдса ($\zeta_{\text{прив}}$ от $\text{Re}_{\text{прив}}$). Характер получаемых обобщенных зависимостей не изменился при рассмотрении нескольких типов теплоносителей (отличающихся друг от друга по параметру кинематической вязкости). [5]

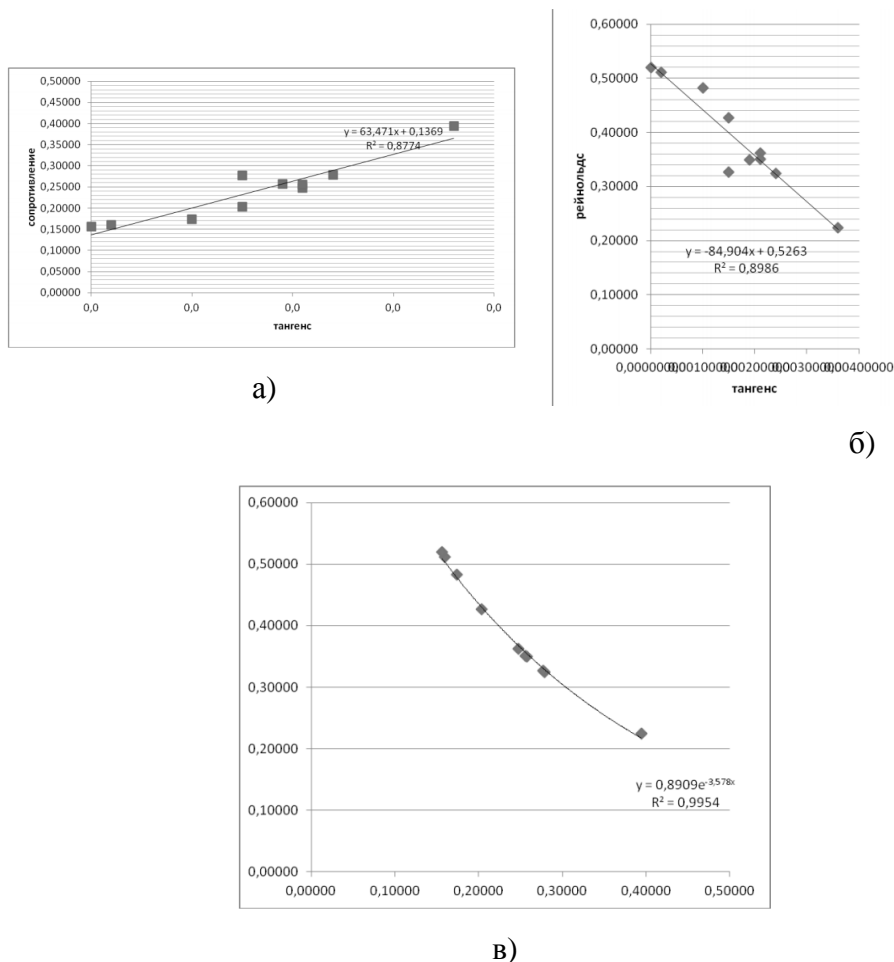


Рисунок 4. Зависимости приведенных параметров гидравлического сопротивления:
 а) зависимость $\zeta_{\text{прив}}$ от $\text{tg}\alpha_{\text{прив}}$. б) зависимость $\text{Re}_{\text{прив}}$ от $\text{tg}\alpha_{\text{прив}}$, в) зависимость $\text{tg}\alpha_{\text{прив}}$ от $\zeta_{\text{прив}}$

При рассмотрении кривой гидравлического сопротивления в трехмерном пространстве, оси координат в котором представляют собой оси изменения значений приведенных параметров гидравлического сопротивления, мы получим точку. Совокупность точек, получаемых в случае представления в системе приведенных координат нескольких кривых гидравлического сопротивления, позволит получить зависимость в форме линии или поверхности. По полученным значениям приведенных параметров гидравлического сопротивления предполагается построить 3-х мерную модель обобщенной зависимости, аналогичную модели, представленной на рисунке 5.

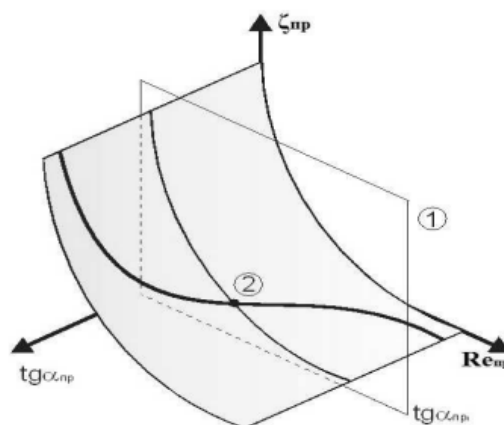


Рисунок 5. Предполагаемая модель обобщенной зависимости гидравлического сопротивления

Используя данную трехмерную зависимость и схему обратной трансформации значений параметров сопротивления усталости из их приведенных параметров, представленную на рисунке 6, можно быстрее и с меньшими трудозатратами получить интересные результаты.

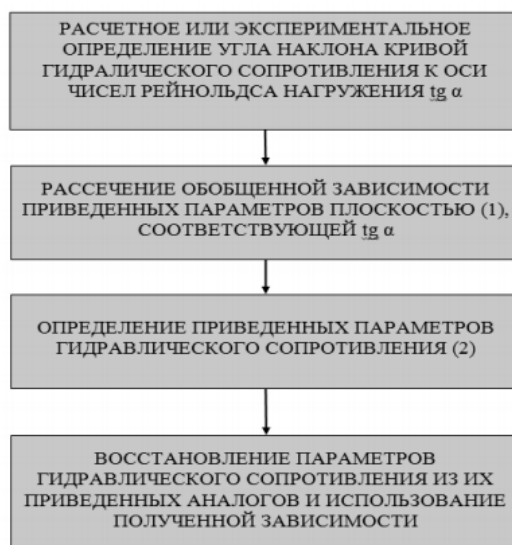


Рисунок 6. Схема преобразования приведенных параметров для получения значений показателей гидравлического сопротивления в традиционной форме

Список литературы

1. Гухман А.А., Зайцев А.А. Обобщенный анализ. М.: Факториал, 1998г., 304с.
2. Альтшуль А. Д. и др. Гидравлика и аэродинамика.- М.: Стройиздат, 1987.-413с
3. Е. Ф. Авдеев, И. А. Чусов Верификация гидравлических характеристик стенда «Циркуляционная петля» // Теплофизика и гидравлика 2002 г., с. 46-53.

4. В.В. Андреев, М.В. Турченко, А.А. Абрамов Преобразование характеристик гидравлического сопротивления с целью обобщения экспериментальной информации о течении жидкости в трубах// Научно-технический вестник Поволжья. №4 2012г. – Казань: Научно-технический вестник Поволжья, 2012. – 251 с.
5. Бухалов А.А., Андреев В.В. Разработка модели и методов прогнозирования гидравлического сопротивления в гладких трубах при протекании различных сред на основе обобщения экспериментальной информации// XIX Нижегородская сессия молодых ученых. Технические науки. 15-19 февраля 2014г.// Н.Новгород: НИУ РАНХиГС 2014-296 с

Рецензенты:

Радионов А.А., д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Кафедра общей и ядерной физики»
Федеральное Государственное Бюджетное Образовательное Учреждение Высшего
профессионального образования «Нижегородский Государственный Университет им. Р.Е.
Алексеева», г. Н. Новгород;

Соколова Э.С., д.т.н., профессор зав. кафедрой «Информатика и системы управления»
Федеральное Государственное Бюджетное Образовательное Учреждение Высшего
профессионального образования «Нижегородский Государственный Университет им. Р.Е.
Алексеева», г. Н. Новгород.