

УДК 639.021

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО
СОПРОТИВЛЕНИЯ ТЕЛ ПРАВИЛЬНОЙ И НЕПРАВИЛЬНОЙ ФОРМ
COMPARATIVE ANALYSIS OF THE HYDRAULIC RESISTANCE
OF REGULAR AND IRREGULARLY SHAPED BODIES

Андреев В. В., д-р техн. наук, профессор; Заузолкова Н. О., Пахомов А. В.,
Сабурина Т. С., Самойлов А. М.,

Нижегородский государственный технический университет
им. Р. Е. Алексеева, г. Нижний Новгород, Российская Федерация

V. Andreev, Doctor of technical Sciences, Professor; N. Zauzolкова,
A. Pakhomov, T. Saburina, A. Samoilov,

Nizhny Novgorod state technical University named after R. E. Alekseev,
Nizhny Novgorod, Russian Federation

Аннотация. Было проведено исследование гидравлического сопротивления разнородной засыпки из шаровых элементов, а также засыпки из тел неправильной формы (кварцевый песок), проведен сравнительный анализ полученных результатов исследования с теоретическими зависимостями. Показано, что в сравнении с теоретическими данными полученные результаты для засыпки из шаровых элементов имеют достаточно высокую степень сходимости, однако для засыпки из тел неправильной формы результаты имеют отклонение от теоретических данных.

Abstract. The study of hydraulic resistance of heterogeneous backfill made of ball elements, as well as backfill made of irregularly shaped bodies (quartz sand) has been conducted, a comparative analysis of the results of the study with the theoretical dependencies has been carried out. It is shown that in comparison with the theoretical data, the results obtained for the backfill of ball elements have a sufficiently high degree of convergence, but for the backfill of irregularly shaped bodies, the results have a deviation from the theoretical data.

Ключевые слова: гидравлическое сопротивление, пористость, засыпные элементы.

Key words: hydraulic resistance, porosity, filling elements.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время проводится множество гидравлических испытаний различного технологического оборудования, в частности для ядерных энергетических установок с целью определения оптимальных гидравлических характеристик активных зон реакторных установок с шаровыми ТВЭЛ, фильтрующего оборудования с разнородными засыпными элементами и др.

Так как эмпирически подтвержденных теоретических зависимостей для конкретного вида засыпных элементов в технической литературе недостаточ-

но [1], возникает необходимость в проведении сравнительного анализа экспериментальных данных с имеющимися теоретическими и верификации данных выражений для определения гидравлического сопротивления таких структур.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В лаборатории теплогидравлики кафедры «Ядерных реакторов и энергетических установок» НГТУ им. Р. Е. Алексеева находится стенд (рис. 1) для проведения гидравлических испытаний. Установка представляет собой замкнутую трассу циркуляции, состоящую из насоса, экспериментального участка, представляющего собой емкость со штуцером для загрузки и выгрузки засыпных элементов (рис. 2, на входе и выходе экспериментального участка установлена сетка), основного и вспомогательного трубопроводов. Для измерения перепада давления на экспериментальном участке используется дифференциальный манометр. Расход среды измеряется турбинным расходомером.

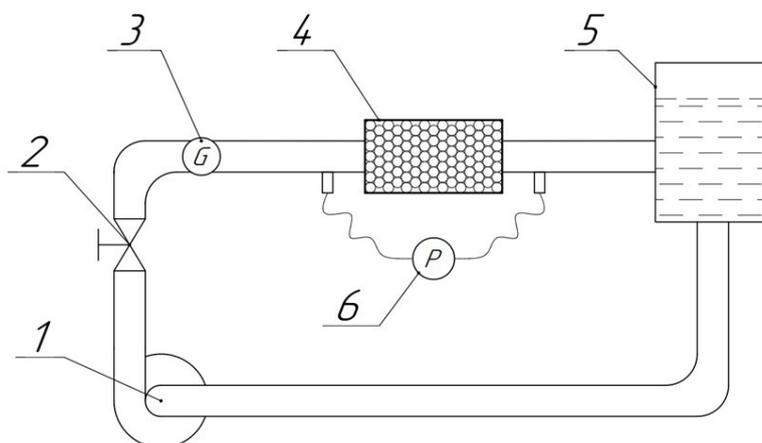


Рис. 1. Схема лабораторного стенда: 1 – насос; 2 – запорная арматура; 3 – расходомер турбинный; 4 – емкость для загрузки и выгрузки засыпных элементов; 5 – цистерна с водой; 6 – дифференциальный манометр

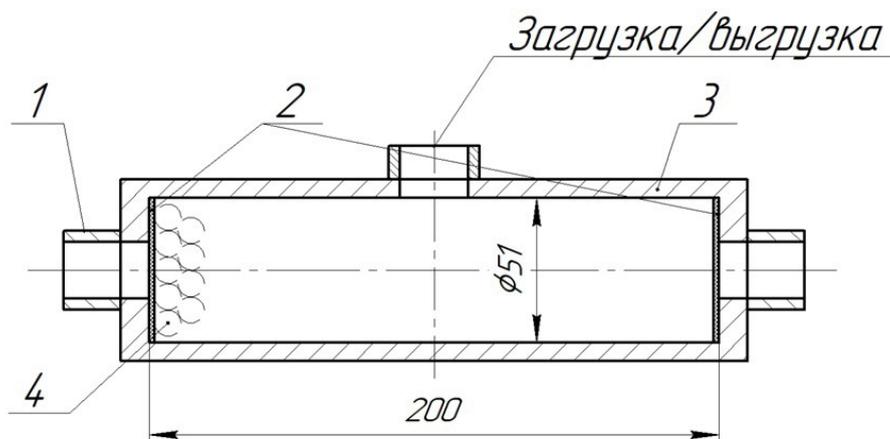


Рис. 2. Емкость для загрузки и выгрузки засыпных элементов: 1 – штуцер входа/выхода; 2 – фиксирующая сетка; 3 – корпус; 4 – засыпные элементы (показаны условно)

В качестве объектов исследования выступали смесь пластиковых и свинцовых шаровых элементов диаметром 6 мм и кварцевый песок фракциями 2–5 мм.

Определяющими параметрами при оценках гидравлического сопротивления засыпных структур являются: режим течения, средний диаметр одного элемента, пористость [1].

$$\xi = \frac{l_0}{d_s} \left[\frac{360(1-\varepsilon')^2}{\varepsilon'^3 \text{Re}} + \frac{B'(1-\varepsilon')}{\varepsilon'^3} \right], \quad (1)$$

где ε' – пористость слоя;

Re – критерий Рейнольдса;

$B' = 1,8$ – для тел с гладкой поверхностью, $B' = 4$ для тел с шероховатой поверхностью;

l_0 – толщина слоя, м;

d_s – средний размер (диаметр) тела, м.

Перепад давления на участке определяется по формуле Дарси-Вейсбаха:

$$\Delta P = \xi \frac{\rho Q^2}{2S^2}, \quad (2)$$

где ξ – коэффициент местного сопротивления;

ρ – плотность жидкости, кг/м³;

Q – расход жидкости, м³/с;

S – площадь поперечного сечения, м².

В случае произвольной беспорядочной засыпки в каналах большого поперечного сечения пористость слоя составляет величину порядка 0,4 [2]. Диаметр одного шарового элемента составляет 6 мм, а средний эквивалентный диаметр одного элемента неправильной формы – 3,4 мм. Полученные результаты приводились к скорости среды в подводящем патрубке.

Для всех засыпных элементов были определены гидравлические характеристики (рис. 3, 4).

По данным, представленным на рис. 3, 4 видно, что гидравлические характеристики засыпных тел правильной формы хорошо согласуются с теоретическими зависимостями (среднее отклонение 6 %). Для засыпных тел неправильной формы имеет место значительное рассогласование полученных экспериментальных и теоретических данных (среднее отклонение 70 %).

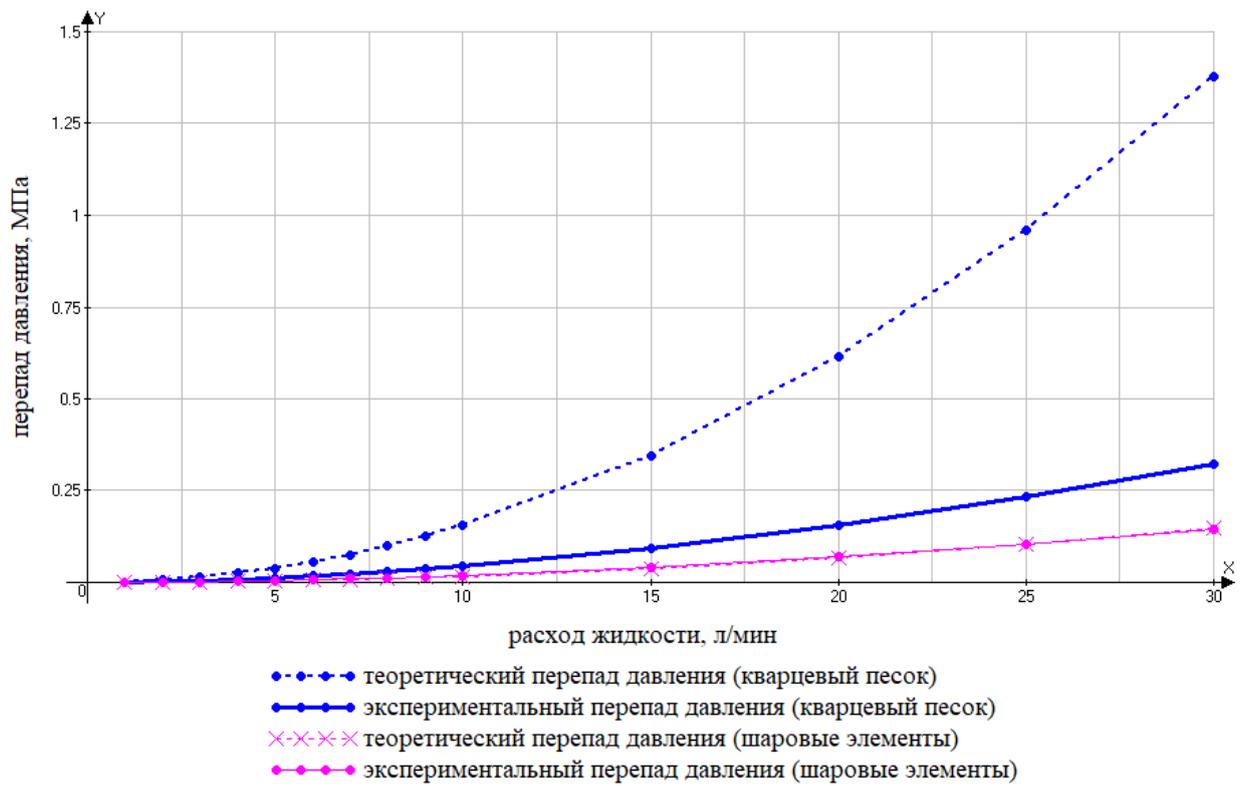


Рис. 3. Зависимость перепада давления от расхода

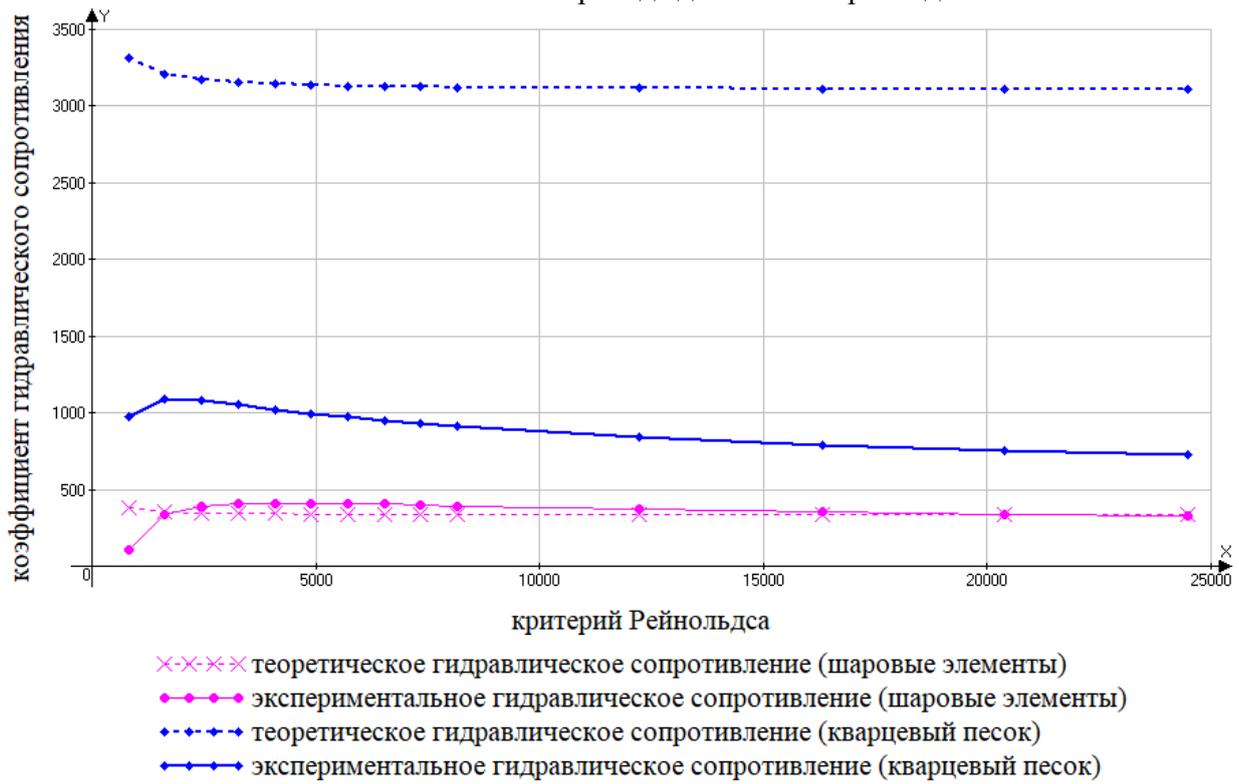


Рис. 4. Зависимость коэффициента гидравлического сопротивления от критерия Рейнольдса

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании полученных данных можно заключить, что для тел правильной формы имеет место корреляция теоретических и экспериментальных данных, для тел неправильной формы наблюдается существенное расхождение, следовательно, необходимо проведение индивидуальных гидравлических испытаний для определения сопротивления засыпных структур неправильной формы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / И. Е. Идельчик; под ред. М. О. Штейнберга. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1992. – 671, [1] с. : ил.; 24 см.; ISBN 5-217-00393-6 (В пер.)
2. Петухов Б. С. Теплообмен в ядерных энергетических установках: [учебное пособие для энерг. спец. вузов] / Б. С. Петухов, Л. Г. Генин, С. А. Ковалев. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 470 с. – Б. ц.