

Ильичев Владимир Юрьевич¹
patrol8@yandex.ru

Юрик Елена Сергеевна¹
sunchik01@rambler.ru

*¹Калужский филиал ФГОУ ВО «Московский государственный
технический университет имени Н. Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)», Россия, г. Калуга*

ПОСТРОЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С ЦЕНТРОБЕЖНЫМИ НАСОСАМИ

Аннотация. Целью работы, описанной в данной статье, являлась разработка программы расчёта и построения совместных характеристик гидравлической сети и центробежных насосов, являющихся её частью. Для расчёта характеристик использована опробованная и хорошо зарекомендовавшая себя методика.

При создании программы ставилась цель автоматизации расчётов для существенного уменьшения их трудоёмкости. При этом представляется возможным решить актуальную на данный момент проблему повышения качества проектирования и улучшения технико-экономических показателей гидравлических сетей.

В качестве среды разработки программного продукта использован один из самых современных языков программирования Python с подключением специальных библиотек для разработки графического интерфейса и вывода графиков.

Для верификации программы произведён расчёт характеристик гидравлической системы охлаждения контура ядерной энергетической установки, показавший высокую точность результатов.

В программе реализован также алгоритм, позволяющий рассчитывать и строить графическую зависимость КПД используемых в гидравлической системе центробежных насосов от расхода перекачиваемой жидкости.

Дано заключение о проделанной работе и рекомендации по сферам применения её результатов.

Ключевые слова: гидравлическая, сеть, насос, характеристика, Python.

Ilichev Vladimir¹
patrol8@yandex.ru

Yurik Elena¹
sunchik01@rambler.ru

*¹Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University,
Russia, Kaluga*

CREATION OF CHARACTERISTICS OF HYDRAULIC SYSTEM WITH CENTRIFUGAL PUMPS

Abstract. The purpose of the work described in this article was to develop a program of calculation and construction of joint characteristics of the hydraulic network and centrifugal pumps, which are its part. Well-proven technique was used to calculate the characteristics.

When creating the program, the purpose was to automate calculations to significantly reduce their labour consumption. At the same time, it is possible to solve the current problem of improving the quality of design and improving the technical and economic indicators of hydraulic networks.

The software development environment is one of the most modern Python programming languages with the connection of special libraries for graphical interface development and graph output.

In order to verify the program, the calculation of the characteristics of the hydraulic cooling system of the nuclear power plant circuit was made, which showed high accuracy of the results.

The program also implements an algorithm that allows to calculate and build the graphical dependence of efficiency of centrifugal pumps used in the hydraulic system on the flow rate of pumped liquid.

An opinion on the work done and recommendations on the application of its results were given.

Keywords: hydraulic, network, centrifugal, pump, characteristic, Python.

Введение

Гидравлические системы с насосами являются неотъемлемыми элементами большого числа технологических схем и применяются во многих областях народного хозяйства для перекачки различных жидкостей (воды, нефти, жидких руд и т. д. [1]):

в добывающих отраслях, в химическом производстве, в энергетических установках, на транспорте, в коммунальном хозяйстве, в быту. При проектировании таких схем расчётам насосных установок уделяется большое внимание, так как важным является проектирование или подбор насосов и их приводов, удовлетворяющих требованиям конкретной гидравлической системы по производительности, стоимости, экономичности, долговечности и др.

В современных гидравлических системах наибольшее применение нашли центробежные насосы, благодаря присущим им достоинствам [2]:

- высокая производительность при малых металлоемкости, весе и стоимости;
- высокая устойчивость работы на переменных режимах;
- возможность непосредственного привода от электродвигателя или турбины;
- простота пуска, регулирования, ремонта и обслуживания;
- высокая надёжность и долговечность.

Недостатком центробежных насосов является низкий коэффициент полезного действия при работе на малых расходах вследствие уменьшения сечения проходных сечений и связанного с этим роста гидравлических сопротивлений. Этот недостаток особенно сильно проявляется в случаях, когда наряду с низкой производительностью требуется создать высокий напор [3]. По этой причине при проектировании необходимо исследовать зависимость КПД конкретного насоса от напора.

Цель исследования

При разработке гидравлической схемы, для которой подбираются насосы, необходимо совместное построение характеристик насосов и сети и нахождение на характеристиках особых (характерных) точек. По расположению этих точек можно оценить насколько тот или иной тип насоса удовлетворяет требованиям, предъявляемым к данной гидравлической системе.

Таким образом, при проектировании гидравлических систем и входящих в них центробежных насосов, необходим быстрый и малозатратный способ построения совместных характеристик [4]. В связи с этим, целью данной работы является автоматизация построения необходимых зависимостей и характерных точек с помощью специально разработанной компьютерной программы.

Материал и методы исследования

При разработке расчётной программы использовалась методика расчёта совместных характеристик насосов и гидравлической сети, приведённая в работе [5]. Методика изложена в приложении к расчёту контура охлаждения ядерного реактора, но подходит также и для расчёта любой гидравлической системы с центробежными насосами.

Для создания компьютерной программы выбран один из самых современных и быстро развивающихся языков программирования Python, позволяющий производить математические вычисления с реализацией численных методов практически любой степени сложности. С использованием дополнительных библиотек язык Python предоставляет разработчику средства для создания удобного графического интерфейса пользователя (GUI) и вывода результаты расчётов в виде наглядных графиков [6].

С помощью команд библиотеки tkinter в основном окне программы созданы надписи-пояснения, поля ввода данных, кнопки выполнения расчётов, а также внедрено меню выбора основных операций программы [7]. Для вывода графиков использована библиотека matplotlib [8].

На рисунке 1 приведён созданный с помощью языка Python графический интерфейс с полями, заполненными необходимыми для расчёта исходными данными.

Результаты

Для отработки программы использовался приведённый в [9] пример расчёта системы охлаждения третьего контура судовой

Расчёт гидравлической системы

Выбор исследования Выход

Расход жидкости.....: 44.0 кг/с

Сопротивление системы.....: 0.4 кДж/кг

Сопротивление участка параллельно расположенных насосов....: 0.035 кДж/кг

Число одновременно работающих насосов.....: 2

Доля расхода при отключении одного насоса.....: 0.75

Данные для определения КПД насоса
в зависимости от относительного расхода:

Низший относительный расход.....: 0.15

Высший относительный расход.....: 1.1

Характеристики насосов и сети

Зависимость КПД насоса от относительного расхода

Рис. 1. Интерфейс ввода исходных данных для расчёта гидравлической системы

ядерной паропроизводящей установки, выполненный пошагово вручную.

На рисунке 2 приведены полученные с помощью программы совмещённые характеристики насосов и гидравлической сети, представляющие из себя зависимости напора от расхода жидкости при постоянном числе оборотов вала насоса, постоянных физических характеристиках жидкости и заданном гидравлическом сопротивлении сети.

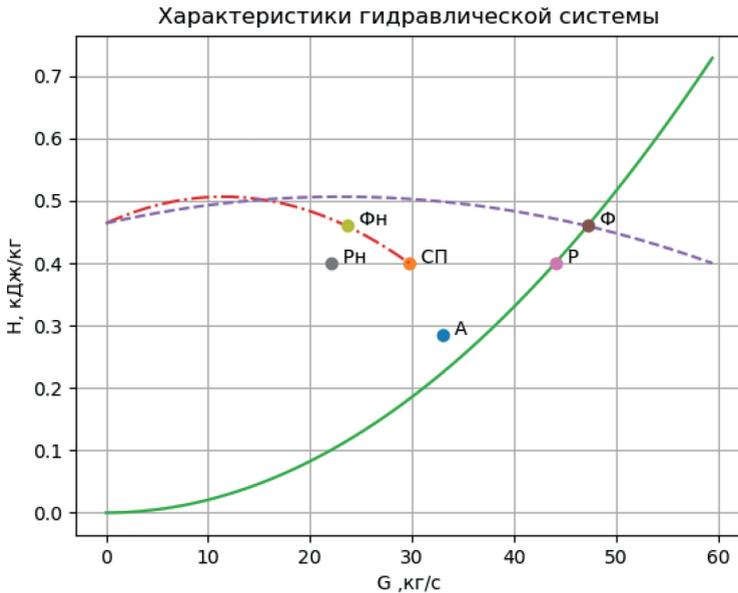


Рис. 2. Характеристики гидравлической сети и насосов с указанием особых точек: сплошная линия — характеристика сети, пунктирная линия — характеристика параллельно подключённых насосов, штрихпунктирная линия — характеристика одиночного насоса

На графике отмечены особые точки характеристик насоса и сети, полученные с помощью программы. Точка Р соответствуют номинальной (расчётной) производительности системы, определяемой её сопротивлением. Точки А и РН соответствуют

требуемой и расчётной производительности системы при отключении одного насоса.

Напорная характеристика насоса при спецификационном (указанном в документации) числе оборотов должна проходить на диаграмме $G-H$ выше точек P_n и A , что мы и видим на приведённом графике.

Точка пересечения характеристики сети с напорной характеристикой насосов определяет фактический режим работы насосов (точка Φ) и называется рабочей точкой. При отключении одного насоса рабочей точкой является точка Φ_n . При необходимости программа позволяет вывести координаты всех особых точек.

Кроме получения характерных точек сети, программа позволяет построить зависимость КПД насоса на фактическом режиме работы от расхода (рисунок 3). Данная характеристика позволяет подобрать режим работы насоса, обеспечивающий максимальную эффективность.

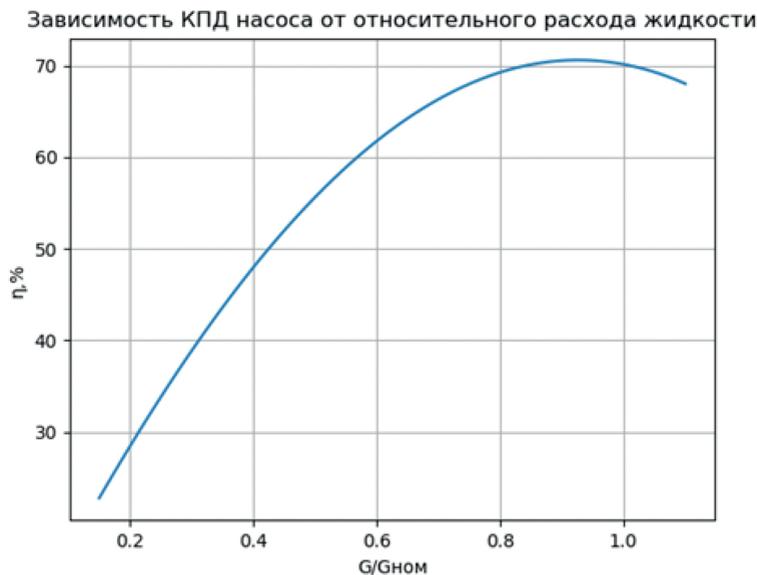


Рис. 3. Зависимость КПД насоса от относительного расхода жидкости

Обсуждение

Процесс создания и апробации программы доказал удобство и широкие возможности применения языка Python для создания научно ориентированных приложений. Расчёт совместных характеристик насосов и гидравлической сети, выполненный с помощью программы в сравнении с «ручным» расчётом, описанным в статье [9], показал полное соответствие полученных результатов.

Результаты расчёта представлены программой в виде графиков, иллюстрирующих зависимость параметров гидравлической системы от исходных данных, в связи с чем отображение итогов проектирования приобретает наглядность.

Разработанная программа позволяет находить все основные характерные точки на совместных характеристиках насосов и гидравлической системы, с целью поиска «узких мест» в проектируемой системе. Также с помощью программы можно исследовать график КПД насосов на фактическом режиме, с целью выбора наиболее оптимального расхода.

Заключение

Таким образом, в рамках описанной работы по существующей методике расчёта гидравлических систем с центробежными насосами разработана программа на языке Python, позволяющая решить следующие задачи:

- построить характеристики существующей гидравлической системы;
- подобрать характеристики разрабатываемой системы, удовлетворяющие необходимым требованиям;
- построить зависимость КПД центробежных насосов от расхода, позволяющую подобрать наилучший режим работы насосов.

Другими словами, с помощью созданной программы можно производить как поверочный расчёт уже применяемой гидравлической системы, так и использовать её при проектировании вновь создаваемых гидросистем любого назначения с использованием

центробежных насосов. Такая автоматизация процесса проектирования приведёт к повышению надёжности и эффективности работы гидравлических систем.

Список литературы

1. **Куликов В. В.** Сравнительный анализ работы центробежного и объёмного насосов // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 2015. – № 4. – С. 86–88.

2. **Али М. С., Бегляров Д. С., Чебаевский В. Ф.** Насосы и насосные станции : учебник. – М. : Изд-во РГАУ-МСХА, 2015. – 330 с.

3. **Назаркин Э. Е.** Сравнение существующих способов регулирования работы центробежных насосов // Аллея науки. – 2017. – Т. 2, № 10. – С. 721–736.

4. **Родионов С. С., Чумаков В. Г., Родионова С. И., Трубин В. А., Оплетев С. И.** Аналитический способ расчета гидравлической сети с центробежным насосом // Сборник статей по материалам II Всероссийской (национальной) научно-практической конференции / Под общей редакцией С. Ф. Сухановой. – 2018. – С. 232–236.

5. **Ревков М. В., Мазилевский И. И., Аполлова А. В.** Расчёт судовых ядерных энергетических установок : метод. указания. – СПб. : СПбГМТУ, 2012. – 70 с.

6. **Кирдяев М. М.** Обзор языка программирования Python для решения задач математического моделирования // Труды международного симпозиума Надёжность и качество. – 2016. – Т. 1. – С. 305–307.

7. **Хайбрахманов С. А.** Основы научных расчётов на языке программирования Python : учеб. пособие. – Челябинск : Изд-во Челяб. гос. ун-та, 2019. – 96 с.

8. **Сысоева М. В., Сысоев И. В.** Программирование для «нормальных» с нуля на языке Python : учебник. В 2 ч. Ч. 1. – М. : ООО «МАКС Пресс», 2018. – 176 с.

9. **Заварзин Б. Б., Рюмин Р. В., Чукарев А. Г.** Алгоритм расчёта насоса системы охлаждения (3 контура) судовой ядерной паропроизводящей установки // Молодой ученый. – 2017. – № 43 (177). – С. 46–50.