

СТАТЬЯ

УДК 621.671

ПОСТРОЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С ЦЕНТРОБЕЖНЫМИ НАСОСАМИ

Ильичев В.Ю., Юрик Е.А.

Калужский филиал ФГОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», Калуга, e-mail: patrol8@yandex.ru

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. За счёт этого 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 Tkinter и вывода графиков Matplotlib, позволяющих произвести анализ полученных характеристик системы. Для верификации программы произведён расчёт характеристик гидравлической системы охлаждения контура ядерной энергетической установки. Расчёт доказал правильность программной реализации рассматриваемой методики и высокую точность результатов. В программе дополнительно реализован 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 система, центробежный насос, система охлаждения АЭС, язык Python, библиотека Tkinter, модуль Matplotlib

CREATION OF CHARACTERISTICS OF HYDRAULIC SYSTEM WITH CENTRIFUGAL PUMPS

Ilichev V.Yu., Yurik E.A.

Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University, Kaluga, e-mail: patrol8@yandex.ru

The purpose of the work described in this article was to develop a program for calculating and building joint characteristics of the hydraulic network and centrifugal pumps that are part of it. To calculate the characteristics, a tested and well-established technique was used. When creating the program, the goal was to automate calculations to significantly reduce their cost. At the same time, it is possible to solve the current problem of improving the design quality and improving the technical and economic indicators of hydraulic networks. As a software development environment, one of the most modern Python programming languages was used with the connection of special libraries to develop graphic interface Tkinter and output graphs Matplotlib that allow you to analyze the obtained characteristics of the system. To verify the program, the characteristics of the hydraulic cooling system of the nuclear power plant circuit were calculated. The calculation proved the correctness of the software implementation of the method in question and the high accuracy of the results. The program additionally implements an algorithm that allows calculating and constructing a graphical dependence of the efficiency of centrifugal pumps used in the hydraulic system on the flow rate of pumped liquid. An opinion was given on the work done and recommendations on the scope of application of its results.

Keywords: hydraulic system, centrifugal pump, NPP cooling system, Python language, Tkinter library, Matplotlib module

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

- в добывающей промышленности;
- в химическом производстве;
- в энергетических установках;
- на транспорте;
- в коммунальном хозяйстве;
- в быту.

При проектировании указанных схем расчётам насосных установок уделяется большое внимание, так как важным является проектирование или подбор насосов и их

приводов, удовлетворяющих требованиям конкретной гидравлической системы по степени повышения давления, производительности, стоимости, экономичности, долговечности и множеству других показателей.

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

- высокая производительность при малых металлоёмкости, 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.

Основным недостатком центробежных насосов является низкий коэффициент полезного действия (КПД) при работе на малых расходах вследствие уменьшения размеров 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 или подборе определённого типоразмера центробежного насоса необходимо исследовать зависимость КПД конкретного насоса от напора.

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.

При этом необходимо производить множество вариантных расчётов, осуществление которых является достаточно трудоёмким. Таким образом, при проектировании гидравлических систем и входящих в них центробежных насосов актуальным является осуществление быстрого и мало затратного способа 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.

Материалы и методы исследования

При разработке расчётной программы использовалась методика пошагового 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 результатов 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 качественной графики использована библиотека Matplotlib [8]. Для расчёта специальных математических функций также использовался модуль Math.

Для получения массивов данных, используемых при построении графических характеристик, расчёт параметров гидравлической схемы и центробежных насосов производился с помощью специально созданных функций, выполняемых при «нажатии» на соответствующие кнопки пользовательского интерфейса. Данные функции представляют из себя циклические конструкции.

Такая технология создания программных продуктов уже успешно опробована авторами в предыдущих исследованиях [9, 10].

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

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

Результаты исследования и их обсуждение

Гидравлическая сеть состоит из совокупности труб, ёмкостей, фильтров, патрубков

ков, арматуры и прочих систем, через которые проходит рабочая среда – жидкость. Таким образом, характеристика сети является обобщённой характеристикой совокупности всех указанных её элементов.

Характеристика центробежных насосов должна быть подобрана таким образом, чтобы обеспечить требования технологического задания к рассматриваемому технологическому процессу. В то же время характеристики сети и насосов должны быть согласованы, то есть рабочая точка сети во всех режимах работы должна находиться в рабочей области характеристики центробежных насосов.

Только при выполнении указанного условия можно обеспечить совместную работу насосов и сети с наибольшей эффективностью. Кроме того, это приводит к достижению наибольшей надёжности системы. Разработанная программа позволяет быстро произвести процесс такого согласования характеристик.

Для отработки программы использовался приведённый в [11] пример расчёта системы охлаждения третьего контура судовой ядерной паропроизводящей установки, выполненный вначале пошагово вручную.

На рис. 2 приведены полученные с помощью программы (при нажатии элемента интерфейса – кнопки «Характеристики насосов и сети») совмещённые характеристики насосов и гидравлической сети, представляющие из себя зависимости напора H (кДж/кг) от расхода жидкости G (кг/с)

при постоянном числе оборотов вала насоса, постоянных физических характеристиках жидкости и заданном гидравлическом сопротивлении сети.

На графике отмечены особые точки характеристик насоса и сети, полученные с помощью программы. Рассмотрим их подробнее.

Точка P соответствует номинальной (расчётной) производительности системы, определяемой её сопротивлением.

Точки A и P_n 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 .

В коде программы предусмотрен также блок, позволяющий вывести координаты всех особых точек для анализа результатов. На основе выводимых координат точек в случае необходимости организации более детальных исследований можно легко создать базу данных различных параметров.

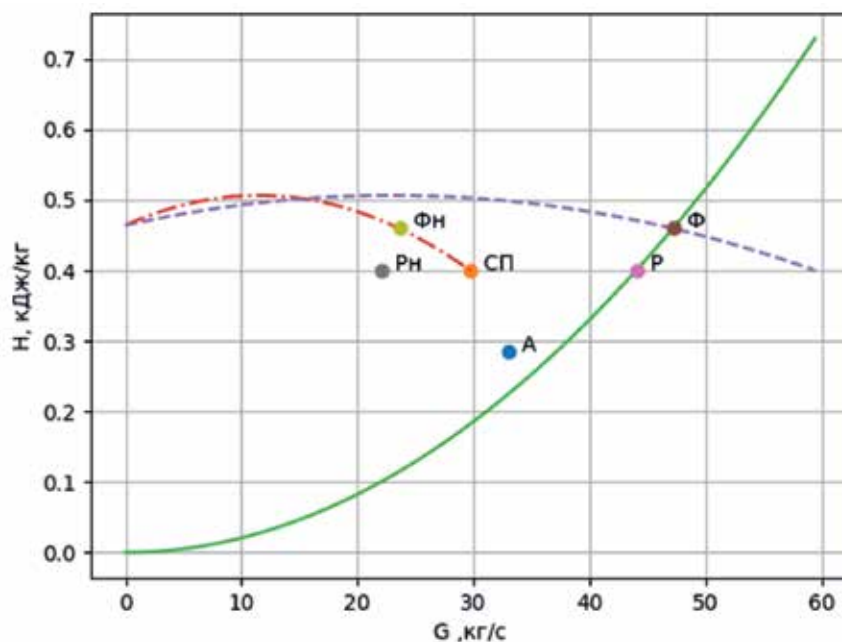


Рис. 2. Характеристики гидравлической сети и насосов с указанием особых точек: сплошная линия – характеристика сети, пунктирная линия – характеристика параллельно подключённых насосов, штрихпунктирная линия – характеристика одиночного насоса

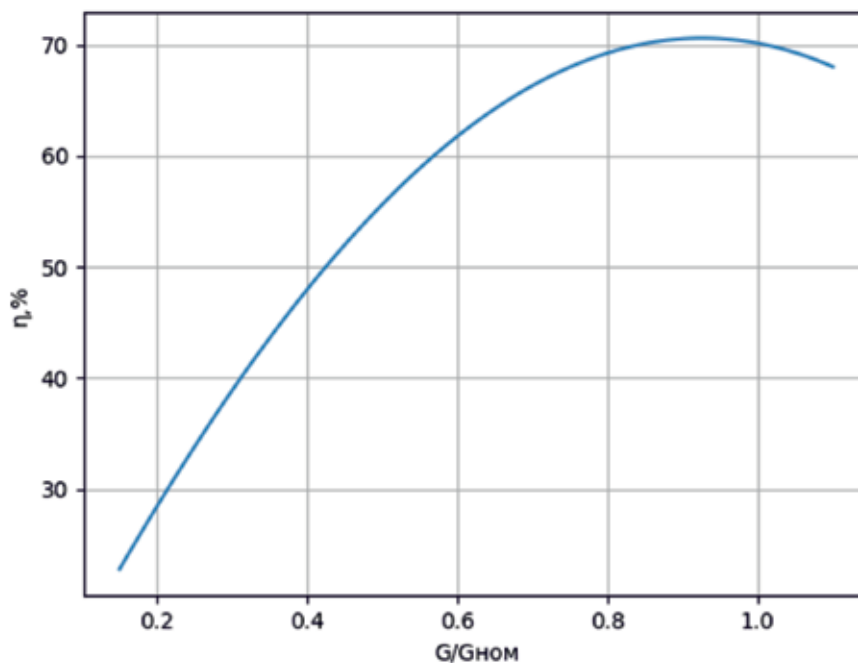


Рис. 3. Зависимость КПД насоса от относительного расхода жидкости

Кроме получения характерных точек сети, программа позволяет построить зависимость КПД центробежных насосов на фактическом режиме работы от расхода (при нажатии на элемент интерфейса — кнопку «Зависимость КПД насоса от относительного расхода») (рис. 3).

Данная характеристика позволяет подобрать режим работы используемых насосов, обеспечивающий максимальную эффективность.

Для рассматриваемого примера согласно рис. 3 с целью достижения максимального КПД рекомендуется эксплуатировать насосы при производительности, равной примерно 92% от номинальной.

Процесс создания и апробации программы доказал удобство и широкие возможности применения языка программирования Python для создания научно ориентированных приложений.

Расчёт совместных характеристик насосов и гидравлической сети, выполненный с помощью созданной программы, в сравнении с произведённым вручную расчётом по методике, описанной в статье [11], 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

отличается наглядностью и удобством сравнения различных режимов и вариантов используемого в схеме оборудования.

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, а также к увеличению производительности труда инженеров-проектировщиков.

Также разработанный алгоритм и программный код в дальнейшем можно использовать для отслеживания работы гидравлической системы в реальном времени, подавая на вход программы данные с датчиков.

Ещё одна перспективная сфера использования программы – анализ и прогнозирование режимов работы системы с центробежными насосами с использованием создаваемых баз данных и их анализа с помощью дополнительных библиотек для языка Python, например библиотеки Pandas [12].

Список литературы

- Куликов В.В. Сравнительный анализ работы центробежного и объёмного насосов // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2015. № 4. С. 86–88.
- Али М.С., Бегларов Д.С., Чебаевский В.Ф. Насосы и насосные станции: учебник. М.: Изд-во РГАУ – МСХА, 2015. 330 с.
- Назаркин Э.Е. Сравнение существующих способов регулирования работы центробежных насосов // Аллея науки. 2017. Т. 2. № 10. С. 721–736.
- 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 общ. ред. С.Ф. Сухановой. 2018. С. 232–236.
- Ревков М.В., Мазилевский И.И., Аполлова А.В. Расчёт судовых ядерных энергетических установок: метод. указания. СПб.: СПбГМТУ, 2012. 70 с.
- Кирдяев М.М. Обзор языка программирования Python для решения задач математического моделирования // Труды международного симпозиума Надежность и качество. 2016. Т. 1. С. 305–307.
- Хайбрахманов С.А. Основы научных расчётов на языке программирования Python: учебное пособие. Челябинск: Изд-во Челяб. гос. ун-та. 2019. 96 с.
- 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.
- Ильичев В.Ю., Юрик Е.А. Создание программы расчёта упорных подшипников скольжения на языке Python // Научное обозрение. Технические науки. 2020. № 3. С. 14–18.
- Ильичев В.Ю. Разработка программных продуктов с использованием модуля Python CoolProp для исследования эффективности утилизации тепла продуктов сгорания газообразных топлив // Системный администратор. 2020. № 11 (216). С. 80–83.
- 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.
- Ильичев В.Ю., Юрик Е.А. Анализ массивов данных с использованием библиотеки Pandas для Python // Научное обозрение. Технические науки. 2020. № 4. С. 41–45.