

Абрамов Олег Леонидович,
студент, Ангарский государственный технический университет,
e-mail: impish.7@mail.ru

Маркин Александр Вячеславович,
студент, Ангарский государственный технический университет,
e-mail: markin.inboxjar@gmail.com

Кривов Максим Викторович,
к.т.н., зав. кафедрой ВМК, Ангарский государственный технический университет,
e-mail: vmk@angtu.ru

АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ АНАЛИТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ КОМПРЕССОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ

Abramov O.L., Markin A.V., Krivov M.V.

ANALYSIS OF STABILITY OF ANALYTICAL MODEL OF COMPRESSOR EQUIPMENT WITH NUMERICAL METHODS

Аннотация. Была рассмотрена и исследована на устойчивость аналитическая модель компрессора ВДН-15, рассмотрена возможность замены системы уравнений, описывающей динамику процессов, на её аналитическое решение, а также найдено и реализовано альтернативное решение поставленной задачи.

Ключевые слова: аналитическая модель, компрессор, анализ устойчивости.

Abstract. The analytical model of the VDN-15 compressor was considered and studied for stability, the possibility of replacing the system of equations describing the dynamics of processes for its analytical solution was considered, as well as an alternative solution to the task was found and implemented.

Keywords: analytical model, compressor, analysis of stability.

Для имитации работы горелочного узла водогрейного котла в тренажерном комплексе используется цифровой двойник на основе динамической компьютерной модели системы забора воздуха и вентилятора ВДН-15. Модель учитывает частотное регулирование электропривода, коммутацию потоков воздуха забора, подогрева воздуха и температуру подшипников вентилятора (рис. 1).

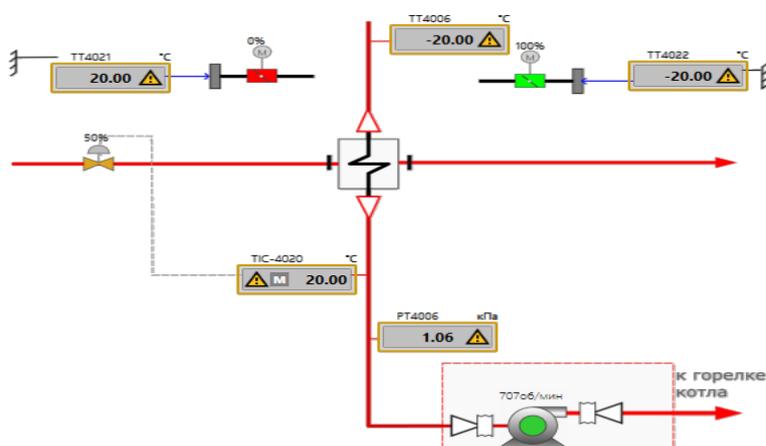


Рисунок 1 – Горелочный узел водогрейного котла

Проблемой построения и эксплуатации цифрового двойника является необходимость выбора компромисса между гарантированной сходимостью решения в широком диапазоне режимов моделирования и высокой скоростью вычисления моделируемых параметров. Модели данного класса характеризуются малыми постоянными времени τ в описании газодинамики и постоянными времени более высоких порядков в описании тепловых процессов.

Для описания динамики объекта предложена система уравнений (1).

$$\begin{cases} \frac{dP_{in}}{dt} = \text{sign}(P_{out} - (P_{in} + pow^2 * vol)) * \frac{k_{pot} * \sqrt{|P_{out} - (P_{in} + pow^2 * vol)|} + k_0 * \sqrt{pow^2 * vol} - k_v * \sqrt{|P_{out} - P_0|}}{\tau} \\ \frac{dP_{out}}{dt} = \text{sign}(P_{out} - (P_{in} + pow^2 * vol)) * \frac{k_v * \sqrt{|P_{out} - P_0|} - k_{pot} * \sqrt{|P_{out} - (P_{in} + pow^2 * vol)|} + k_0 * \sqrt{pow^2 * vol}}{\tau} \end{cases} \quad (1)$$

Особую сложность в данной системе представила существенная нелинейность правых частей дифференциальных уравнений, что не позволило авторам получить аналитическое решение. Система (1) решалась методом Эйлера. При шаге 0,1 потребовалось большое число итераций, что увеличило нагрузку на вычислительную систему. При шаге 1 метод Эйлера расходился (рисунок 2, а). Было принято решение заменить метод Эйлера методом Рунге-Кутты 4 порядка.

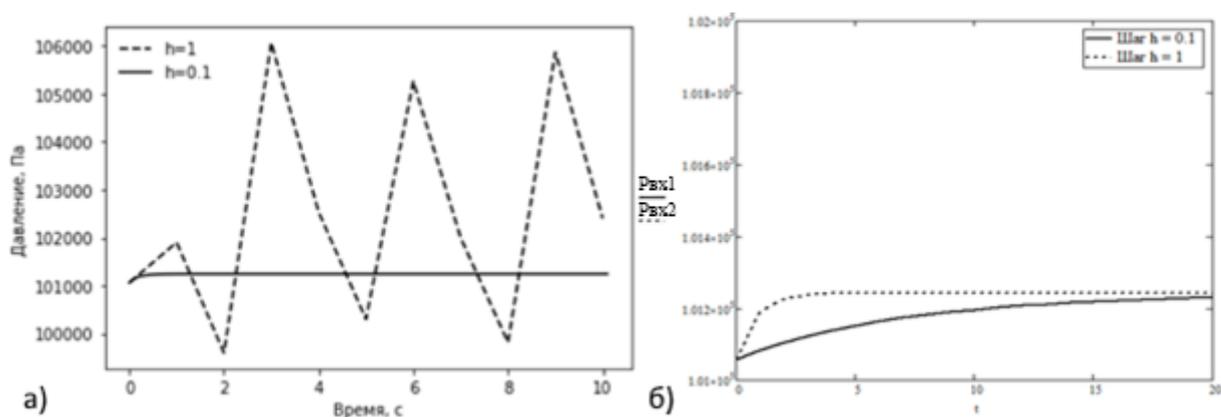


Рисунок 2 – График давлений при: а) методе Эйлера; б) методе Рунге-Кутта

Несмотря на невозможность решить систему аналитически, добиться сходимости решения все же удалось – замена метода Эйлера на метод Рунге-Кутты положительно сказалась на устойчивости модели даже при больших шагах интегрирования (рисунок 2, б).

ЛИТЕРАТУРА

1. Основы гидродинамики: учеб. пособие / С. Д. Чижумов. – Комсомольск-на-Амуре : ГОУВПО «КНАГТУ», 2007. – 106 с.
2. Кафаров В.В., Основы массопередачи. Учебник – Москва, 1979 г. / Кафаров В.В. – 439 с.