

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ АППАРАТА ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ПРИ РАСЧЕТЕ НЕСТАЦИОНАРНЫХ НЕИЗОТЕРМИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ТРАНСПОРТА ГАЗА

Гусарова И.Г., Буданцева Ю.В.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники

61166, Харьков, пр. Ленина, каф. прикладной математики, тел. (057) 702-14-36,

E-mail: yuliya_vladi@mail.ru

Work is devoted the questions of design of work of unit of air-cooling at the calculation of the unstationary unisothermal modes of gas transport. A method and algorithm of decision of equalizations of mathematical model of the single-lane gas-main pipeline, consisting of two linear areas and compressor unit is offered. On the base of this algorithm was created a software product, being part of programmatic complex for the calculation of the modes of gas transport on an of multithread main gas pipeline.

Типовой многониточный магистральный газопровод (ММГ) объединяет несколько компрессорных станций (КС), соединенных между собой многониточными линейными частями однониточных магистральных газопроводов (ОМГ), состоящих из параллельно проложенных труб большого диаметра. В свою очередь, КС состоит из одного или нескольких газоперекачивающих компрессорных цехов (КЦ), а в КЦ эксплуатируется группа газоперекачивающих агрегатов (ГПА).

В процессе компримирования газа на ГПА резко возрастает температура газа. Это может привести к разрушению изоляции трубопроводов, к замерзанию грунтов, и как следствие, к деформации трубопроводов и другим негативным последствиям. Кроме того, чем выше температура газа, тем больше потери давления при транспортировке газа по магистрали. Таким образом, для обеспечения прочности и устойчивости ОМГ и сохранности окружающей среды после компримирования транспортируемого газа применяется его охлаждение. В газовой промышленности для этой цели на КС используются аппараты воздушного охлаждения (АВО), которые располагаются после групп ГПА и позволяют охладить транспортируемый газ до необходимой температуры.

Учитывая специфику режимов транспорта газа (РТГ) по ОМГ, а именно их нестационарность и неизотермичность вследствие различных нештатных ситуаций, необходимо уметь полноценно моделировать нестационарные неизотермические РТГ (ННРТГ) по ОМГ, а именно учитывать охлаждение газа в АВО после его компримирования на ГПА.

Таким образом, целью данной работы является моделирование ННРТГ по ОМГ, состоящему из двух линейных участков (ЛУ) и КЦ, содержащего АВО. В качестве модели КЦ берется ГПА с обобщенными характеристиками.

В рамках данной работы рассматривались следующие задачи: построение надежной и адекватной математической модели (ММ) КЦ с учетом работы АВО и разработка метода расчета предложенной системы уравнений с возможностью дальнейшего их использования для расчетов ННРТГ по ММГ.

Как правило, в АВО для транспорта природного газа применяются трубы незначительной длины. Поэтому при математическом описании работы АВО предлагается считать, что процесс транспорта природного газа через АВО является квазистационарным и изобарическим. Это позволяет использовать широко известную формулу В.Г. Шухова:

$$T_K = T_{OC} + (T_H - T_{OC}) \cdot \exp \left[-\frac{\pi \cdot k \cdot D \cdot l}{J \cdot C_p} \right],$$

где T_H, T_K – температуры транспортируемого газа соответственно на входе и выходе АВО; T_{OC} – температура окружающего воздуха; k – коэффициент теплопередачи,

характеризующий интенсивность передачи теплоты от транспортируемого газа в окружающую среду через разделяющую их стенку трубы и ее изоляционное покрытие; C_p – осредненная теплоёмкость транспортируемого газа при постоянном давлении; D, l – эквивалентные диаметр и длина труб в АВО; J – массовый расход транспортируемого газа через АВО.

В данном случае рассматривается параллельное соединение труб на АВО и значения эквивалентных диаметра и длины труб в АВО определяются из условия сохранения потокораспределения, т.е. таким образом, чтобы эквивалентные участки обладали той же пропускной способностью, что и исходные участки. При этом режимные параметры на входе и на выходе эквивалентных участков должны совпадать с режимными параметрами соответственно в начале и конце эквивалентного участка.

Авторами был предложен метод включения данного АВО в модель расчета ННРТГ по ОМГ, позволяющий объединить модель АВО с моделями ЛУ и ГПА в единую сетевую модель. Математическая модель ННРТГ по ОМГ состоит из взаимосвязанных систем дифференциальных уравнений (СДУ) в частных производных, описывающих ННРТГ через ЛУ, и систем нелинейных алгебраических уравнений, описывающих стационарные РТГ через КЦ (ГПА и АВО). Эти системы связаны условиями согласования в узлах сети, представляющими собой системы алгебраических уравнений. Метод основан на применении метода конечных разностей. Аппроксимация уравнений системы проведена разностными уравнениями с использованием неявной конечно-разностной схемы. После замены частных производных в СДУ получаем систему нелинейных алгебраических уравнений, которая является дискретным аналогом системы уравнений общей ММ ННРТГ. Далее дискретный аналог решается методом Ньютона путем линеаризации. Полученную линейную систему предлагается преобразовать с учетом условий согласования в узлах сети. Преобразованная линейная система решается относительно векторов поправок к неизвестным методом Гаусса с выбором главного элемента. Метод позволяет существенно сократить размерность линейной системы путем специальных преобразований, предложенных авторами работы. Суть метода состоит в том, что часть переменных с помощью условий согласования исключается из системы линейных уравнений. Это приводит к уменьшению размерности системы. Далее решается преобразованная система линейных уравнений, а затем находятся исключенные переменные.

Научная новизна – впервые был предложен метод и алгоритм решения задачи расчета ННРТГ через ОМГ, содержащий КЦ с АВО. На его базе, был разработан и оттестирован на различных переходных процессах программный продукт, который может быть включен в программный комплекс для расчета и анализа РТГ для ММГ любой структуры. Проведенный ряд тестов показал адекватность рассмотренной ММ и результативность метода при проведении численных экспериментов, что позволило сделать вывод о достоверности и эффективности расчетов ННРТГ через ОМГ.

Практическая значимость – разработанные метод и алгоритм, позволяют моделировать совместную работу АВО с ГПА и ЛУ, а созданный на их основе программный продукт, позволяет проводить более подробный комплексный анализ сложных технических систем с высокой степенью точности и достоверности.

Данные расчеты могут быть использованы для анализа фактического состояния ОМГ, определения эффективных безопасных РТГ и поддержания заданных характеристик, что в свою очередь помогает своевременно предупреждать аварийные ситуации и является залогом стабильного функционирования ОМГ.