

УДК 621.59

В.Н. Таран

Одесская государственная академия холода, ул. Дворянская, 1/3, г. Одесса, Украина, 65082
e-mail: vntaran@eurocom.od.ua

АЛГОРИТМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА РАСЧЁТА ПАРАМЕТРОВ ЦИКЛА КРИОГЕННОЙ УСТАНОВКИ. РЕШЕНИЕ СИСТЕМЫ УРАВНЕНИЙ

Разработанный ранее метод определения матрицы коэффициентов применен для расчёта сложного термодинамического цикла сжижения гелия. Показаны практическое удобство метода и способы понижения порядка системы. Решение системы нелинейных уравнений итерационным методом Ньютона обладает достаточно высокой сходимостью при ограничениях на изменения параметров в ходе итераций. Разработан алгоритм учёта гидравлических сопротивлений и теплопритоков.

Ключевые слова: САПР криогенной системы. Гелий. Криогенная техника. Ожижитель гелия. Расчёт параметров термодинамического цикла. Решение системы уравнений. Сходимость. Гидравлические сопротивления. Теплопритоки.

V.N. Taran

ALGORITHMIZATION OF CALCULATION PROCESS OF CYCLE OF CRYOGENIC PLANT. SOLUTION OF EQUATIONS SYSTEM

The method of definition of a matrix of coefficients is applied to calculation of a helium liquefaction cycle. Practical commodity of this method and ways of a system order reduction are shown. The solution of system of the nonlinear equations by an iterative Newton method possesses a high convergence. The algorithm of the account of hydraulic resistance and external heat transfer is developed.

Keywords: CAD/CAM of cryogenic system. Helium. Cryogenic engineering. Liquefier of helium/ Calculation of a cycle. Solution of system. Convergence. Hydraulic resistance. External heat transfer.

1. ВВЕДЕНИЕ

Основным в ходе расчёта цикла криогенной установки является определение параметров рабочего тела в характерных точках схемы. В предыдущей статье [1], посвященной проблеме автоматической генерации программ расчёта циклов произвольных систем, рассмотрены вопросы формирования матриц коэффициентов уравнений материальных и энергетических балансов для одновременного определения параметров всех точек. Исследуем возможности и особенности численных решений систем уравнений.

В качестве контрольного примера рассмотрим схему детандерного гелиевого ожижителя (рис. 1). В схему входят три ступени охлаждения гелия: предварительного его охлаждения жидким азотом, а затем в детандерной и дроссельной ступенях. На рисунке они отделены горизонтальными пунктирными линиями. Подобная схема характерна также для водородных ожижителей, отчасти для воздухоразделительных и др. установок.

2. ЛОГИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ТОЧЕК СТУПЕНИ

ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

Рассмотрим ступень предварительного охлаждения жидким азотом сжатого гелия в гелиевом детандерном ожижителе. Ступень включает в себя гелиевый теплообменник А2, азотный теплообменник А3 и азотную ванну А5. В рассмотрение включены также тройник-разделитель А1 и тройник-смеситель А4. Для определения параметров точек используем уравнения материальных и энергетических балансов аппаратов.

Матрица коэффициентов уравнений энергетических балансов элементов ступени предварительного охлаждения, полученная ранее [1], состоит из 4-ёх строчек уравнений, 8-ми колонок искомым энтальпий и колонки правых частей уравнений (см. табл. 1). Её необходимо скорректировать с учётом задаваемых исходных данных и связи аппаратов потоками.

Исходные данные включают задаваемые значения расходов G_1 , G_5 , давлений P_1 , P_5 и P_{12} (азот выбрасывается в атмосферу), температур T_1 и T_5 , недорекупераций ΔT_{2-6} , ΔT_{3-12} и ΔT_{9-11} . Для демонстрационных расчётов положим гидравлические сопротивления аппаратов равными нулю, что делает давления во всех точках схемы известными. Учитывая свойство тройника-раз-