



УДК 621.59.01
ГРНТИ 20.51.23

АВТОМАТИЗАЦИЯ РАСЧЕТА ТЕПЛО- ФИЗИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КРИОАГЕНТОВ

*Л.А. КУКАРСКИХ, кандидат физико-математических наук
ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)
Ю.В. ШИПКО, кандидат технических наук, доцент
ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)*

Для моделирования процессов криогенных технологий предполагается создание автоматизированной информационной системы. Анализируется информационная база данных. Обосновывается целесообразность создания программного комплекса. Автоматизированная информационная система способствует более точному определению показателей теплофизических свойств газов.

Ключевые слова: автоматизированная информационная система; база данных; теплофизические свойства; криогенные технологии.

AUTOMATION CALCULATION OF CRYOAGENT THERMOPHYSICAL INDEX

*L.A. KUKARSKIKH, Candidate of Physico-Mathematical Sciences
MESC AF «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh)
U.V. SHIPKO, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
MESC AF «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh)*

The automated information data system development is supposed for cryogenic technology process computer simulation. Information database is analysed. The feasibility of software package creating is proved. The automated information data system contributes to the most precise definition of the gases thermophysical properties indexes.

Keywords: automated information data system; database; thermophysical properties; cryogenic technology.

Введение. Криогенные системы и технологии получения и использования низких температур являются сегодня важным инструментом развития различных областей знаний и отраслей промышленности. Криология – это наука о природных объектах и процессах, происходящих в криосфере земли, наука о воздействии холода на физические тела. Под криогеникой понимают технологии и аппаратно-методические средства работы в условиях низких температур, а cryogenics – отрасль физики, изучающая свойства материалов и явления, происходящие при низких температурах. Согласно международному соглашению диапазон температур распространяется от температуры получения жидкого гелия под вакуумом до температуры конденсации природного газа [1]. Согласно ГОСТ 21957-76 [2] криогеника – область науки, охватывающая исследование, развитие и применение криогенной техники.

Спектр применения криогенных технологий весьма существенен и обширен, от разработки и внедрения новых технологий получения, хранения и транспортировки сжиженного природного газа, использования криогенных топлив в авиации до разработки космических программ, направленных на энергосбережение, защиту среды обитания и повышение качества жизни. Возрастает роль криогеники в направлении созда-



ния новых и совершенствования существующих видов военной техники, в частности, авиационных комплексов четвертого и пятого поколений.

Актуальность. В настоящее время при проектировании криогенного оборудования, для обоснования тактико-технических характеристик криогенной военной техники, исследования вопросов ее эксплуатации и тому подобное актуально компьютерное моделирование процессов сложной физической обстановки криогенных систем на базе физических закономерностей тепло- и массопереноса. Для специальных программных процедур, моделирующих отдельные элементы криогенных установок, алгоритмов решения математических задач, возникающих при моделировании криогенных систем, необходим комплекс входных параметров, начальных условий.

При расчете криогенных систем обычно применяются так называемые термодинамические диаграммы различных криоагентов (кислорода, азота, воздуха, гелия и других). По этим диаграммам определяется давление, удельный объем, температура, энтропия, энтальпия, теплоемкость и другие термодинамические характеристики. Очевидно, что громоздкие и сложные расчеты, связанные с интерполяцией, экстраполяцией, аппроксимацией исходных данных, целесообразно проводить на компьютере. Таким образом, в области криогеники возникает необходимость автоматизированного определения показателей свойств веществ для их последующего использования при моделировании процессов криогенных систем. В связи с этим необходима разработка методики подготовки исходного материала – базы данных, алгоритмов и программных модулей расчета и представления информации, характеризующей свойства рабочих газов. Выполнение таких задач может быть обеспечено автоматизированной информационной системой (АИС).

Цель работы – повышение эффективности моделирования процессов криогенных технологий путем разработки автоматизированной системы предметного назначения.

Для создания автоматизированной системы необходимо прежде всего создать информационную базу данных (БД). Развитие информационного обеспечения автоматизированных систем управления привело к выработке принципа единой информационной базы [3], представляющего собой системный подход к обработке данных и позволяющего их эффективное использование. При создании БД и ее пополнении обязательен контроль данных. Основными требованиями, предъявляемыми к создаваемым БД [3] являются:

- целесообразное удовлетворение информационных потребностей военных потребителей и систем обработки данных;
- избыточность данных, хранимых в БД;
- обеспечение независимости данных от использующих их программ;
- возможность совместного ведения и использования хранимых данных;
- адаптивность информации к изменениям входных параметров;
- повышение технологичности обработки информации;
- возможность обеспечения защиты данных.

Для анализа термомеханической системы в качестве независимых переменных выбраны параметры (потенциалы) [4, 5]:

T – температура, К;

p – давление, МПа.

Функциями состояния являются:

ρ – плотность, кг/м³;

i – энтальпия, кДж/кг;

S – энтропия, кДж/(кг·К);

c_p – удельная теплоемкость при постоянном давлении, кДж/(кг·К);

λ – коэффициент теплопроводности, МВт/(м·К);



μ – вязкость, Па·с;

M – молярная масса, г/моль.

База данных информационной системы теплофизических свойств воздуха, кислорода и азота сформирована в файлах табличного редактора Excel в виде, представленном таблицей 1.

Таблица 1 – Теплофизические свойства воздуха

T	P	ρ	c_p	i	S	μ	λ
74,0	0,1	896,61	1,056	124,52	2,938	2207,52	144,68
76,0	0,1	887,56	1,243	128,83	2,969	2045,88	142,19
78,0	0,1	878,44	1,390	129,46	3,003	1899,17	139,60
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
375,0	0,1	0,93	1,012	627,00	7,110	220,00	31,75
400,0	0,1	0,87	1,014	648,00	7,200	230,00	33,45
74,0	0,2	866,86	1,056	124,59	2,938	2210,73	144,79
76,0	0,2	887,82	1,242	126,90	2,969	2048,87	142,29
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
375,0	0,2	1,86	1,013	629,26	6,897	220,08	30,93
400,0	0,2	1,74	1,015	654,61	6,962	230,78	32,33
74,0	0,3	897,12	1,055	124,66	2,937	2213,93	144,89
76,0	0,3	888,08	1,242	126,96	2,968	2051,85	142,40
375,0	0,3	2,79	1,014	629,13	6,780	220,16	30,96
400,0	0,3	2,61	1,016	654,50	6,845	230,85	32,37
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
375,0	20,0	173,42	1,167	610,04	5,509	255,77	36,69
400,0	20,0	161,68	1,147	638,94	5,584	262,61	37,07

Разработанная автоматизированная информационная система реализуется на автономном персональном компьютере (несетевая версия), содержит несколько приложений, связанных общим информационным фондом, и рассчитана на работу пользователя, использующего одно рабочее место. АИС относится к информационно-справочным системам, предназначенным для автоматизированной обработки табличных значений в электронном виде специализированной БД, расчете требуемых параметров и представлении их графических зависимостей.

Задача АИС определяется как функция пользовательского модуля, представляющая формализованную совокупность автоматизированных действий. Результатом решения задачи являются выходные расчетные показатели (ρ , i , S , c_p , λ , μ) при заданных значениях температуры и давления и графическое представление их зависимостей в диапазоне температур, соответствующем определенной фазе состояния среды.

Так как значения теплофизических свойств в базе данных представлены для «круглых» значений температуры и давления, то создана сервисная программа интерполяции табличных значений. Она предусматривает интерполяцию по двум аргументам: температуре и давлению, и позволяет оценить ошибку интерполяции по величине остаточных членов интерполяционного полинома.

Для аппроксимации зависимостей $y = f(x)$, где через y обозначены параметры теплофизических свойств рассматриваемых сред (ρ , i , S , c_p , λ , μ), а через x – температура среды T , используется функция полинома 6-й степени



$$\hat{y}_i = a_0 + a_1x_i + a_2x_i^2 + a_3x_i^3 + a_4x_i^4 + a_5x_i^5 + a_6x_i^6, i = 1, 2, \dots, n, \quad (1)$$

где $a_k, k=0, 1, \dots, 6$, – оценки коэффициентов регрессии, определяемые по методу наименьших квадратов [5].

Процедура интерполяции предусматривает предварительное определение фазы состояния рассматриваемого вещества. По значению температуры определяется состояние – жидкость или газ. По состоянию вещества выбираются две полиномиальные зависимости. В эти зависимости подставляется значение температуры и определяются два значения по каждому теплофизическому свойству. Применяя интерполяцию, получаем одно значение каждого параметра теплофизического свойства.

Общая схема разработанной АИС в виде основных управляющих блоков представлена на рисунке 1.

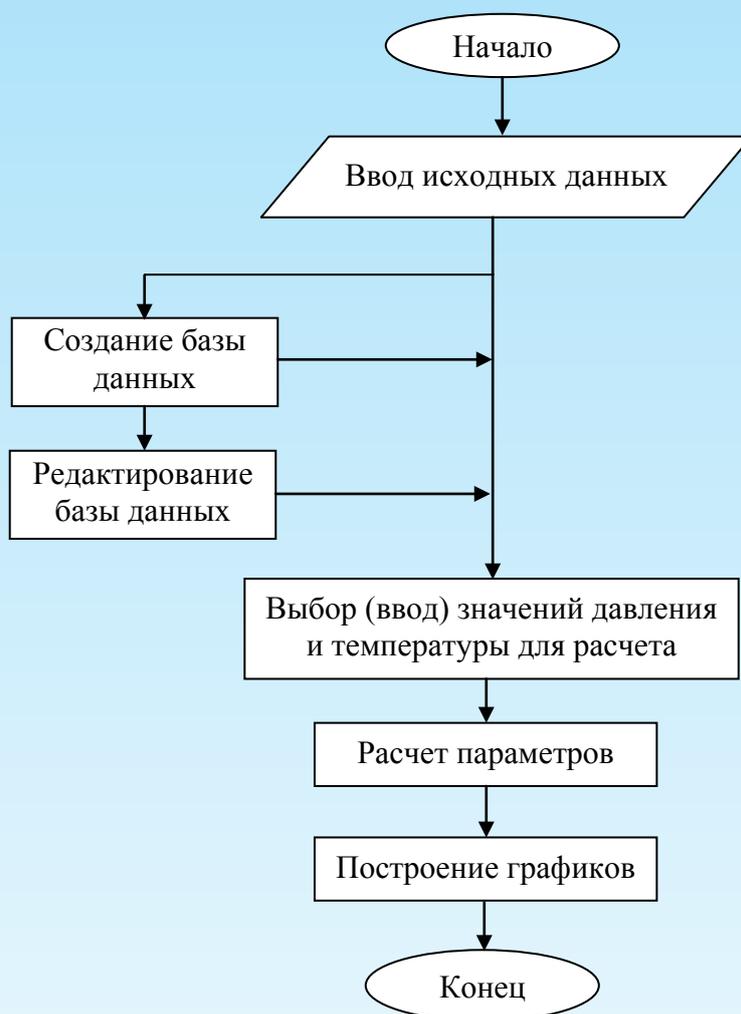


Рисунок 1 – Укрупненная блок-схема автоматизированной информационной системы

При запуске программного комплекса отображается лист управления с кнопками «азот», «кислород», «воздух» – для выбора криогенной среды; «показать лист с исходными данными» – для перехода на лист с исходной информацией, «выход» – для завершения работы с системой.



Выбирается среда, формируется или редактируется база исходных данных, если это необходимо, для вычисления параметров теплофизических свойств осуществляется переход на лист «расчет». Вводятся значения давления и температуры, для которых определяются и выводятся на экран значения плотности (ρ), энтальпии (i), энтропии (S), удельной теплоемкости при постоянном давлении (c_p), коэффициента теплопроводности (λ) и вязкости (μ). Здесь также выводится следующая информация: выбранная среда, её состояние и молярная масса; для удобства выбора отображаются диапазоны значений давления и температуры.

Строятся графические зависимости каждого параметра теплофизического свойства от температуры при постоянном значении давления (рисунок 2).

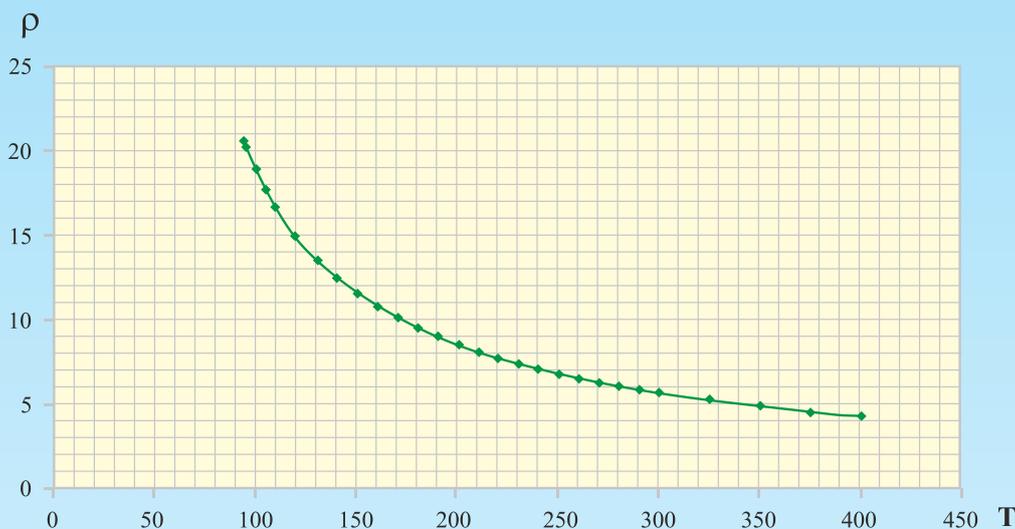


Рисунок 2 – Графическая зависимость плотности от температуры при давлении 0,5

Разработанный программный комплекс создает базу данных, формирует выборки архивных данных теплофизических свойств кислорода, азота, воздуха, используемых в криогенных системах, позволяет проводить тестовые расчеты теплофизических показателей криоагентов в различных диапазонах давления и температуры.

Итак, созданный программный комплекс представляет собой автоматизированную информационно-аналитическую систему обработки и представления характеристик теплофизических свойств веществ.

Выводы. Эффективность созданной АИС определяется возможностью повышения качества расчетов показателей теплофизических свойств газов при моделировании процессов криогенных технологий, определении исходных технических данных при проектировании и разработке теплообменных устройств воздухоразделительных систем, а также в учебном процессе при выполнении научно-исследовательских и других работ.

Работа АИС ограничена разработкой автоматизации расчета только теплофизических свойств газов: воздуха, азота, кислорода. Данный программный комплекс предполагает последующее усовершенствование автоматизированной информационной системы: уточнение расчетов характеристик теплофизических свойств в области жидкость-пар – для газов, и развитие АИС в плане информационного обеспечения свойств металлов и сплавов.



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зайцев А.В. Криогеника в начале XXI века [Электронный ресурс] // Холодильная техника и кондиционирование: электронный научный журнал. 2014. Вып. 1. URL: <http://refrigeration.open-mechanics.com> (дата обращения: 04.04.2016).
2. ГОСТ 21957–76. Техника криогенная. Термины и определения. Введ. 1976-06-23. М.: Минхимнефтемаш, 1977. 6 с.
3. Ульман Дж. Основы систем баз данных / Пер. с англ.; под ред. М.Р. Когаловского. М.: Финансы и статистика, 1983. 334 с.
4. Теплофизические свойства криопродуктов / Л.А. Акулов, Е.И. Борзенко, В.Н. Новотельнов, А.В. Зайцев. СПб.: Политехника, 2001. 243 с.
5. Борзенко Е.И., Зайцев А.В., Кудашова Н.В. Расчет теплофизических свойств геопродуктов на линии насыщения с повышенной точностью [Электронный ресурс] // Холодильная техника и кондиционирование: электронный научный журнал. 2011. Вып. 2. URL: <http://refrigeration.open-mechanics.com> (дата обращения: 04.04.2016).

BIBLIOGRAPHY

1. Zaicev A.V. Cryogenics in the beginning of the XXI century [Electronic resource] // Refrigerating engineering and conditioning: electronic scientific journal. 2014. Iss. 1. URL: <http://refrigeration.open-mechanics.com/> (accessed 04.04.2016).
2. State Standard 21957–76. Cryogenic technology: Terms and definitions. Introd. 1976-06-23. М.: Minximneftemasch, 1977. 6 p.
3. Ulman Dj. Foundations of the database system / Transl. from Engl.; under the editorship of M.R. Kogalovsky. М.: Finances and statistics, 1983. 334 p.
4. Heat-transfer properties of cryoproduct / L.A. Akulov, E.I. Borzenko, V.N. Novotelnov A.V. Zaicev. SPb.: Politechnika, 2001. 243 p.
5. Borzenko E.I., Zaicev A.V., Kudaschova N.V. Calculation of thermophysical properties geoproduct on the lines of saturation extended-precision [Electronic resource] // Refrigerating engineering and conditioning: electronic scientific journal. 2011. Iss. 2. URL: <http://refrigeration.open-mechanics.com> (accessed 04.04.2016).

© Кукарских Л.А., Шипко Ю.В., 2017

Кукарских Любовь Алексеевна, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник научно-исследовательского центра (проблем применения, обеспечения и управления авиацией Военно-воздушных сил), Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А, vaiu@mil.ru

Шипко Юрий Владимирович, кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник научно-исследовательского центра (проблем применения, обеспечения и управления авиацией Военно-воздушных сил), Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А, vaiu@mil.ru