

УДК 004.942, 519.652

О. С. Воронова

ГОУ ВПО Донбасская национальная академия строительства и архитектуры (ДонНАСА), г. Макеевка
Донецкая обл., г. Макеевка-23, ул. Державина, 2

ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВЗАИМОЗАВИСИМОСТИ ФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ХЛАДАГЕНТА R407C

O. S. Voronova

GOU VPO Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture (DONNASA), Makeevka
Donetsk area. Makeevka-23 of, st. Derzhavina, 2

GEOMETRICAL MODEL OF DEPENDENCE THE PHYSICAL PARAMETERS OF THE REFRIGERANT R407C

О. С. Воронова

ГОУ ВПО Донбасска національна академія будівництва і архітектури (ДОННАСА), м. Макіївка
Донецька обл., м. Макіївка-23, вул. Державіна, 2

ГЕОМЕТРИЧНА МОДЕЛЬ ВЗАЄМОЗАЛЕЖНОСТІ ФІЗИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ХОЛОДОАГЕНТА R407C

В работе представлена и аналитически описана геометрическая модель физического состояния хладагента R407C, как пример зависимости энтальпии от температуры и объема вещества. Разработанная геометрическая модель, представлена в виде двухпараметрической поверхности отклика, которая принадлежит трехмерному пространству и реализована с помощью математического аппарата геометрического моделирования процессов и явлений – БН-исчисление. Представлен анализ эффективности геометрического моделирования значений зависимости энтальпии, которые были получены в результате графических измерений по термодинамической диаграмме $\log P-h$, и расчетных, полученных на основе разработанной геометрической модели. В результате чего, можно сделать вывод о соответствии геометрической модели с данными термодинамической диаграммы $\log P-h$.

Ключевые слова: БН-исчисление, геометрическая модель, отсек поверхности отклика, опорные контуры, параметры хладагента.

The paper presents and analytically describes a geometric model the physical state of the refrigerant R407C. This model is the dependence of enthalpy on temperature and volume of a substance. The developed geometric model is presented in the form of a two-parameter response surface, which belongs to three-dimensional space. This model is described using the mathematical apparatus of geometric modeling of processes and phenomena – BN-calculation. The analysis of effectiveness the geometric modeling of dependence the parameters enthalpy is presented: some enthalpy parameters were obtained as a result of graphical measurements using the $\log P-h$ thermodynamic diagram, other parameters were calculated on the basis of the developed geometric model. As a result, we can conclude that the geometric model is in good convergence with the $\log P-h$ thermodynamic diagram.

Key words: BN-calculation, geometrical model, surface compartment, support contours, forming surfaces, refrigerant parameters.

У роботі представлена і аналітично описана геометрична модель фізичного стану холодоагенту R407C, як приклад залежності ентальпії від температури і об'єму речовини. Розроблена геометрична модель має вигляд двопараметричної поверхні відгуку, яка належить тривимірному простору і реалізована за допомогою математичного апарату геометричного моделювання процесів і явищ – БН-числення. Запропонований аналіз ефективності геометричного моделювання значень залежності ентальпії, які були отримані в результаті графічних вимірів по термодинамічній діаграмі $\log P-h$, і розрахункових, отриманих на основі розробленої геометричної моделі. В результаті чого можна зробити висновок про відповідність геометричної моделі з даними термодинамічної діаграми $\log P-h$.

Ключові слова: БН-числення, геометрична модель, відсік поверхні відгуку, опорні контури, параметри холодоагенту.

Вычислительные возможности современной вычислительной техники открывают новые возможности математического и компьютерного моделирования процессов теплопереноса для решения инженерных задач в области технической термодинамики и теплопередачи [1], [2]. К этому же классу задач можно отнести моделирование процесса взаимозависимости физических параметров хладагента, поскольку нельзя представить современные отрасли промышленности и повседневную жизнь человечества без использования искусственного холода. Так холодильная техника широко применяется для технологических процессов в промышленности, в системах кондиционирования и вентиляции воздуха, для хранения продуктов питания, а также в других сферах деятельности. В связи с этим эксплуатация холодильной техники невозможна без правильного понимания происходящих термодинамических процессов.

На практике для построения циклов холодильных машин, описания различных процессов холодильной техники, используют различные термодинамические диаграммы. Наиболее распространенной является диаграмма $\log P-h$, которая применяется для тепловых расчетов, контроля и анализа параметров действующих холодильных установок. Также для определения необходимых параметров и их взаимного влияния применяют таблицы основных физических свойств и эксплуатационных характеристик хладагента [3], [4].

К преимуществам расчета физического состояния хладагента по термодинамическим диаграммам следует отнести наглядное представление процессов холодильной техники, однако зависимости носят сложный характер и поэтому не лишены погрешностей в определении. Основным недостатком графического способа определения является невозможность использовать термодинамические диаграммы в системах автоматизированного проектирования, для которых необходимо иметь не графические, а аналитические зависимости физического состояния вещества. К недостаткам определения физических величин по доступным автору таблицам (например, приведенным в [4]) следует отнести тот факт, что характеристики хладагента представлены только в пределах линии насыщения, что существенно ограничивает возможность их использования и сужает область исследования при проектировании и анализе зависимостей физического состояния хладагента. Автору не удалось найти в доступной литературе многомерные таблицы характеристик вещества, где бы были представлены все физические параметры хладагента. Поэтому для построения геометрической модели зависимости физического состояния хладагента была выбрана термодинамическая диаграмма $\log P-h$.

Для создания геометрической модели взаимозависимости физического состояния хладагента в работе используется метод многомерной интерполяции [5], реализованный в математическом аппарате «БН-исчисление» [6–9], для геометрического моделирования процессов и явлений. Данный метод позволяет получить аналитические зависимости различных сложных взаимосвязанных процессов, а также их оптимизировать.

Ранее в работе [9] автором была предложена геометрическая модель параметров влажного воздуха, которая показала хорошую сходимость со значениями параметров влажного воздуха, полученными по диаграмме. Рассмотрим аналогичную геометрическую модель на примере термодинамической диаграммы $\log P-h$ холодильного агента.

Исходные данные моделирования

В качестве примера для построения геометрической модели воспользуемся неазеотропным хладагентом R407C, как альтернативой устаревшим и озоноразрушающим хладагентам [4], [10]. Термодинамическая диаграмма $\log P-h$ холодильного агента R407C отражает несколько взаимосвязанных параметров, которые изображены в виде различных линий (рис. 1) [10].

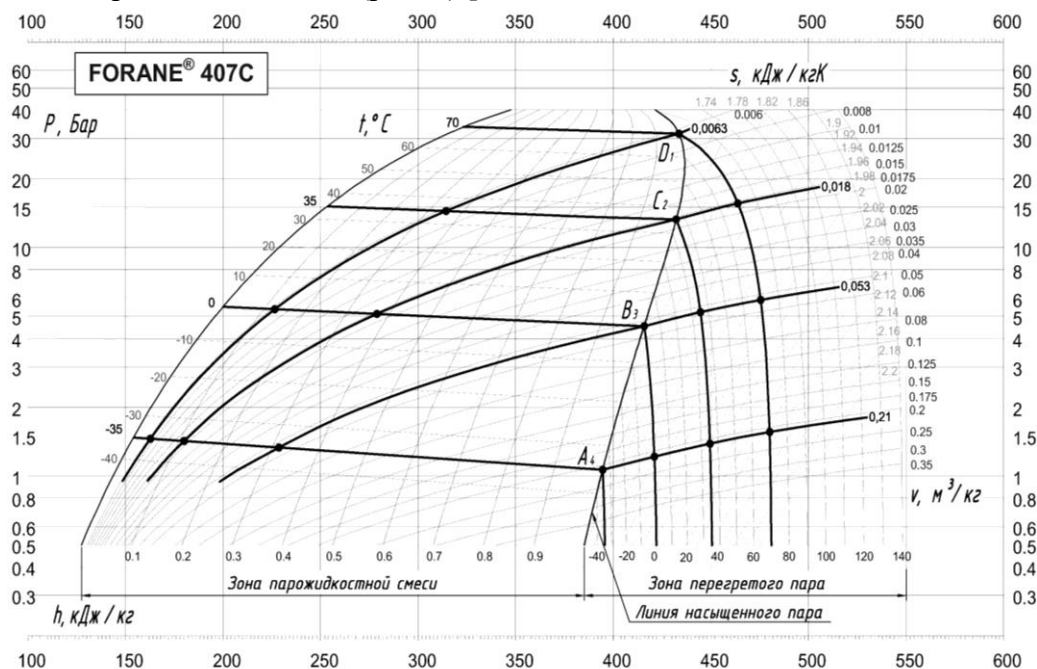


Рисунок 1 – Термодинамическая диаграмма $\log P-h$ холодильного агента R407C

В данной работе, в качестве примера, представим геометрическую модель зависимости энтальпии от температуры и удельного объема вещества. Ограничимся следующими параметрами хладагента:

- t – температура вещества, °C;
- v – удельный объем, м³/кг;
- h – удельная энтальпия, кДж/кг.

Модель зависимости энтальпии h от температуры t и объема вещества v

Для моделирования определим область исследования и ограничимся температурой в пределах -35 – 70 °C. Из справочного руководства [4] по таблице основных физических свойств и эксплуатационных характеристик хладагента R407C на линии насыщенного пара зафиксируем значения удельной энтальпии. Разделим исследуемую область по линии насыщенного пара на два отсека поверхности отклика: первый отсек представляет собой зону парожидкостной смеси, а второй отсек – зону, в которой вещество находится в состоянии перегретого пара. В зоне, ограниченной линиями насыщения, хладагент может существовать только в двухфазном состоянии (в виде парожидкостной смеси). Причем на пограничной линии насыщенного пара вещество переходит в однофазное состояние – сухой насыщенный пар. Как показано на рис. 1, оба отсека поверхности отклика стыкуются в точках A_4 , B_3 , C_2 , D_1 . Отсюда следует, что значения параметров хладагента будут общими для первого и второго отсеков.

По термодинамической диаграмме $\log P-h$, зная температуру, определим значения удельного объема вещества. Исходя из вышесказанного, для построения геометрической модели исследуемая область будет иметь следующие границы: $t = -35-70$ °C, $v=0,0063-0,21$ м³/кг.

Определим оставшиеся значения удельной энтальпии по диаграмме $\log P-h$ и представим все данные для моделирования в табл. 1.

Таблица 1 – Параметры физического состояния хладагента R407C

№ п/п	$t, ^\circ\text{C}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$h, \text{кДж/кг}$
1.	-35	0,0063	162,6
2.		0,018	179,9
3.		0,053	228,5
4.		0,21	394,5
5.	0	0,0063	226,34
6.		0,018	278,68
7.		0,053	415,7
8.		0,21	420,97
9.	35	0,0063	314,13
10.		0,018	432,1
11.		0,053	444,58
12.		0,21	449,46
13.	70	0,0063	433,54
14.		0,018	463,70
15.		0,053	475,48
16.		0,21	480,10

Рассмотрим геометрическую схему моделирования параметров хладагента в зоне парожидкостной смеси. На геометрической схеме (рис. 2) отобразим зафиксированные значения параметров хладагента. Полученные в результате измерений 10 точек распределим следующим образом: первый опорный контур H_{1A} состоит из четырёх точек, второй H_{1B} – из трёх, третий H_{1C} – из двух и четвёртый H_{1D} – из одной точки.

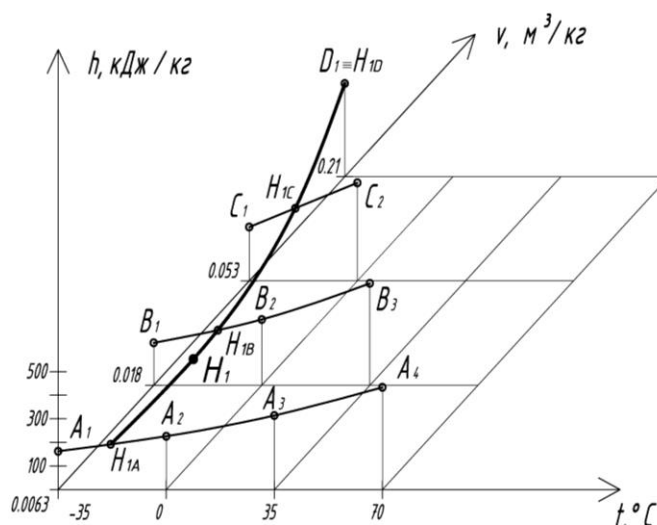


Рисунок 2 – Геометрическая схема первого отсека моделирования параметров холодильного агента

Предложенная схема с геометрической точки зрения является отсеком поверхности отклика, где точки A_i, B_i, C_i, D_i – это исходные точки для моделирования, которым соответствуют значения параметров хладагента (табл. 1). Опорный контур, который описывается текущей точкой H_1 , является образующей отсека поверхности отклика и при помощи криволинейной интерполяции объединяет все фиксированные состояния.

Первый опорный контур можно аналитически описать с помощью точечного уравнения дуги кривой третьего порядка, проходящей через четыре наперед заданные точки [5]:

$$H_{1A} = A_1(\bar{u}^3 - 2,5\bar{u}^2u + \bar{u}u^2) + A_2(9\bar{u}^2u - 4,5\bar{u}u^2) + \\ + A_3(-4,5\bar{u}^2u + 9\bar{u}u^2) + A_4(\bar{u}^2u - 2,5\bar{u}u^2 + u^3), \quad (1)$$

где u – параметр, который определяет положение текущей точки на соответствующем опорном контуре, $0 \leq u \leq 1$;

$\bar{u} = 1 - u$ – дополнение параметра до единицы.

Второй и третий опорные контуры определим с помощью точечных уравнений параболы [5] и прямой соответственно:

$$H_{1B} = B_1\bar{u}(1 - 2u) + 4\bar{u}uB_2 + B_3u(2u - 1), \quad (2)$$

$$H_{1C} = C_1\bar{u} + C_2u. \quad (3)$$

Для определения образующей контура, которая описывается текущей точкой H_1 , запишем следующее итоговое уравнение:

$$H_1 = H_{1A}(\bar{w}^3 - 2,5\bar{w}^2w + \bar{w}w^2) + H_{1B}(9\bar{w}^2w - 4,5\bar{w}w^2) + \\ + H_{1C}(-4,5\bar{w}^2w + 9\bar{w}w^2) + H_{1D}(\bar{w}^2w - 2,5\bar{w}w^2 + w^3), \quad (4)$$

где w – параметр, который определяет положение текущей точки на образующей поверхности, $0 \leq w \leq 1$;

$\bar{w} = 1 - w$ – дополнение параметра до единицы.

Таким образом, подставив в уравнение (4) найденные значения опорных контуров из уравнений (1-3), получим вычислительный точечный алгоритм моделирования отсека поверхности отклика, проходящей через 10 наперед заданных точек, который определяется двумя параметрами u и w . Изменение параметра u соответствует изменению температуры хладагента от -35 до 70°C , а изменение параметра w – изменению удельного объема вещества от $0,0063$ до $0,21 \text{ м}^3/\text{кг}$.

Выполним покоординатный расчёт, смысл которого заключается в проецировании геометрического объекта на оси декартовой системы координат. Получаем систему параметрических уравнений для первого отсека поверхности отклика:

$$\begin{cases} t = -35 + 105w; \\ v = 0,99u - 0,34u^2 + 0,44u^3 - 0,6uw + 1,1uw^2 - 0,6uw^3 + 2,29u^2w - 4,1u^2w^2 + \\ + 2,16u^2w^3 - 2,44u^3w + 3,99u^3w^2 - 1,99u^3w^3 + 0,0063; \\ h = 162,72u + 91,05w + 74,16u^2 + 34,07u^3 - 246,6w^2 + 387,45w^3 - 451,05uw + \\ + 1618,34uw^2 - 1329,99uw^3 + 575,64u^2w - 1791,36u^2w^2 + 1141,56u^2w^3 - \\ - 187,34u^3w + 306,59u^3w^2 - 153,29u^3w^3 + 162,6. \end{cases}$$

Аналогично первому отсеку рассмотрим второй отсек поверхности отклика как геометрическую схему моделирования параметров хладагента в зоне перегретого пара (рис. 3). Данный отсек также определяется четырьмя опорными контурами: H_{2A} , H_{2B} , H_{2C} и H_{2D} . Так опорный контур H_{2A} является точкой, опорный контур H_{2B} определяется двумя точками и рассчитывается при помощи уравнения прямой (3), подставив в него из табл. 1 соответствующие значения точек B_3 и B_4 . Опорные контуры H_{2C} и H_{2D} описываются соответственно точечными уравнениями дуги кривой второго порядка, проходящей через три точки (2), и третьего порядка, проходящей через четыре наперед заданные точки (1).

Следует также отметить, что точки A_4, B_3, C_2, D_1 – это общие точки для двух отсеков поверхности отклика и являются стыковочными для геометрической модели физического состояния хладагента R407C.

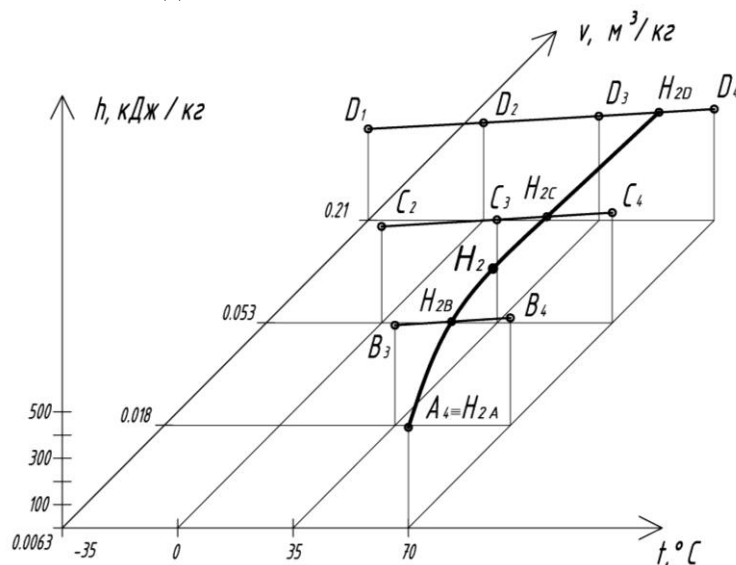


Рисунок 3 – Геометрическая схема второго отсека моделирования параметров холодильного агента

Исходя из того, что для моделирования второго отсека поверхности отклика количество опорных контуров также равно четырем, для нахождения направляющей отсека H_2 воспользуемся аналогичным точечным уравнением дуги кривой, проходящей через четыре наперед заданные точки (4), подставив значения выше найденных опорных контуров.

Для второго отсека поверхности отклика, который также проходит через 10 наперед заданных точек, запишем следующую систему параметрических уравнений:

$$\begin{cases} t = -35 + 105w; \\ v = 0,99w^2 - 0,75w - 0,44w^3 + 0,21 + 1,75uw - 4,91uw^2 + 3,27uw^3 - 1,44u^2w + \\ + 5,92u^2w^2 - 4,82u^2w^3 + 0,44u^3w - 1,99u^3w^2 + 1,9u^3w^3; \\ h = 60,64w + 24,12w^2 - 45,72w^3 + 30,18uw - 114,21uw^2 + 213,3uw^3 - 64,8u^2w + \\ + 325,8u^2w^2 - 394,2u^2w^3 + 50,49u^3w - 227,21u^3w^2 + 227,21u^3w^3 + 394,5. \end{cases}$$

Для наглядного изображения на рис. 4 представим общую визуализацию поверхности отклика геометрической модели физического состояния хладагента R407C, которая состоит из двух отсеков.

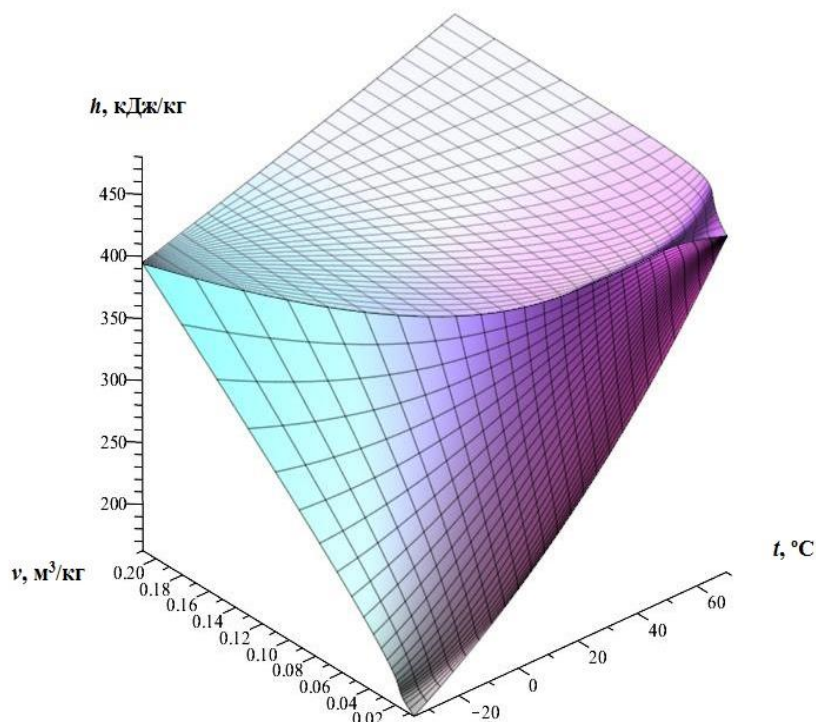


Рисунок 4 – Визуализация общей геометрической модели зависимости энтальпии от температуры и объема холодильного агента R407C

Проведём верификацию полученной модели с помощью коэффициента детерминации. При этом следует учесть, что полученная геометрическая модель по сравнению с исходными данными имеет полную сходимость, при которой коэффициент детерминации равен 1. С геометрической точки зрения этот факт объясняется тем, что условие прохождения моделируемого отсека поверхности отклика через наперед заданные точки, соответствующие исходным расчётно-статистическим данным, было заложено заранее, непосредственно на стадии моделирования. Поэтому для проверки достоверности результатов моделирования воспользуемся дополнительными проверочными данными в количестве 20 точек, которые не вошли в полученную модель. В результате точность геометрической модели достигла $R^2=0,9968$.

Выводы

В статье разработана геометрическая модель взаимозависимости физических параметров хладагента R407C, как пример возможностей математического аппарата БН-исчисления для моделирования различных процессов и явлений. Данная геометрическая модель представлена в виде двух отсеков поверхности отклика и является двухпараметрическим множеством, которое принадлежит трехмерному пространству. Оба отсека поверхности отклика аналитически описаны при помощи точечных уравнений дуг кривых, проходящих через наперед заданные точки, что позволяет максимально точно рассчитывать искомые значения параметров хладагентов. Представлена верификация разработанной геометрической модели, при этом точность составила $R^2=0,9968$.

Следует также отметить, что для каждого хладагента существуют свои диаграммы, но принцип их построения и пользования ими одинаков, поэтому, в зависимости от поставленной задачи и исходных данных, полученную геометрическую

модель можно использовать для нахождения других необходимых параметров. Перспективой дальнейших исследований является обобщение разработанной геометрической модели для расчёта зависимости различных физических параметров хладагента.

Список литературы

1. Павлыш В. Н. Математическое моделирование процессов тепломассопереноса в подвижном слое [Текст] / В. Н. Павлыш, И. В. Тарабаева // Проблемы искусственного интеллекта. – Донецк: ГУ ИПИИ. – 2017. – № 2 (5). – С. 70–77.
2. Павлыш В. Н. Математическое моделирование процесса движения газовой смеси в сплошной среде (на примере угольного пласта) [Текст] / В. Н. Павлыш, И. В. Тарабаева // Проблемы искусственного интеллекта. – Донецк: ГУ ИПИИ. – 2018. – № 3 (10). – С. 104–111.
3. Цветков О. Б. Теплофизические свойства и диаграммы альтернативных холодильных агентов [Текст]: учеб. пособие / О. Б. Цветков, А. В. Клецкий, Ю. А. Лаптев. – СПб.: СПбГАХИТ, 1997. – 96 с.
4. Бабакин Б. С. Альтернативные хладагенты и сервис холодильных систем на их основе [Текст] / Б. С. Бабакин, В. И. Стефанчук, Е. Е. Ковтунов. – М.: Колос, 2000. – 160 с.
5. Конопацкий Е. В. Геометрическое моделирование и оптимизация многофакторных процессов и явлений методом многомерной интерполяции [Текст] / Е. В. Конопацкий // Труды Международной научной конференции по физико-технической информатике СРТ2018, 28 – 31 мая 2018. – Москва-Протвино, 2018. – С. 299–306.
6. Балюба И. Г. Точечное исчисление [Текст] / И. Г. Балюба, В. М. Найдыш: учебное пособие; под ред. Верещаги В.М. – Мелитополь: МГПУ им. Б. Хмельницкого, 2015. – 236 с.
7. Бумага А. И. Введение в математические аппарат БН-исчисления [Текст] / А. И. Бумага, Е. В. Конопацкий, А. А. Крысько, О. А. Чернышева // Проблемы качества графической подготовки студентов в техническом вузе: традиции и инновации. – 2017. – Т. 1. – С. 76–82.
8. Найдыш В. М. Алгебра БН-исчисления. Прикладна геометрія та інженерна графіка [Текст] / В. М. Найдыш, И. Г. Балюба, В. М. Верещага // Міжвідомчий науково-технічний збірник. – К.: КНУБА, 2012. – Вип. 90. – С. 210–215.
9. Воронова О.С. Геометрическое моделирование физических параметров влажного воздуха [Текст] / О. С. Воронова, Е. В. Конопацкий // Инвестиции, строительство, недвижимость как материальный базис модернизации и инновационного развития экономики: материалы VIII Международной научно-практической конференции, 13 – 15 марта 2018 г.: в 2 ч. – Томск: Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2018. – Ч. 1. – С.318–322.
10. Никитин А. А. Хладагенты и хладоносители систем кондиционирования воздуха [Текст] / А. А. Никитин, Т. В. Рябова, А. В. Василенок, В. А. Павловская // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Холодильная техника и кондиционирование. – 2015. – № 3. – С.7–12.

References

1. Pavlysh V.N., Tarabaeva I.V. The mathematical modeling of heat-and-mass transfer processes in moving bed [Problems of artificial intelligencel. Donetsk: GU IPII. - 2017. - № 2 (5). - pp. 70–77.
2. Pavlysh V.N., Tarabaeva I.V. The mathematical modeling of gas-air mix moving process in continuous environment (with coal stratum as example) [Problems of artificial intelligencel. Donetsk: GU IPII. - 2018. - № 3 (10). - pp. 104–111.
3. Tsvetkov O.B., Kletskey A.V., Laptev YU.A. *Teplofizicheskiye svoystva i diagrammy al'ternativnykh kholodil'nykh agentov* [Thermophysical properties and diagrams of alternative refrigerants]. SPb., SPbGAHPT. 1997, 96 p.
4. Babakin B. S., Stefanchuk V. I., Kovtunov Ye. Ye. *Al'ternativnyye khladagenty i servis kholodil'nykh sistem na ikh osnove* [Alternative refrigerants and servicing of refrigeration systems based on them], M., Kolos. 2000. 160 p.
5. Konopatskiy E.V. Geometricheskoye modelirovaniye i optimizatsiya mnogofaktornykh protsessov i yavleniy metodom mnogomernoy interpolyatsii [Geometrical modeling and optimization of multifactor processes and phenomena's by method of multidimensional interpolation]. *Trudy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii po fiziko-tekhnicheskoy informatike* [Proceedings of the International Conference

- on Computing for Physics and Technology CPT2018], May 28-31, 2018, Moscow-Protvino, 2018, pp. 299 – 306.
6. Balyuba I.G., Najdysh V.M. *Tochechnoe ischislenie* [Point calculation]. Melitopol, 2015. 236 p.
 7. Bumaga A.I., Konopatskiy E.V., Krysko A.A., Chernysheva O.A. Vvedeniye v matematicheskiye apparat BN-ischisleniya [introduction in the mathematical apparatus bn-calculation]. *Problemy kachestva graficheskoy podgotovki studentov v tekhnicheskoye uchebnoye zavedeniye: traditsii i innovatsii* [Problems of the quality of graphic preparation of students in a technical college: traditions and innovations]. 2017. T. 1. pp. 76-82.
 8. Naydysh V.M., Balyuba Y.H., Vereshchaha V.M. Algebra BN-yschyslenyya. Prykladna heometriya ta inzhenerna hrafika [Algebra BN-calculation. Applied geometry and engineering graphics]. *Mizhvidomchyy naukovo-tekhnichnyy zbirnyk* [Interdepartmental scientific and technical collection] 2012. № 90. pp. 210 – 215.
 9. Voronova O.S., Konopatskiy E.V. Geometricheskoye modelirovaniye fizicheskikh parametrov vlazhnogo vozdukhha [Geometric modeling of the physical parameters of humid air]. *Investitsii, stroitel'stvo, nedvizhimost' kak material'nyy bazis modernizatsii i innovatsionnogo razvitiya ekonomiki : materialy VIII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Investments, construction, real estate as the material basis of modernization and innovative development of the economy: Materials of the VIII International Scientific and Practical Conference], Tomsk, 2018, Part 1, pp.318–322.
 10. Nikitin A.A., Ryabova T.V., Vasilenok A.V., Pavlovskaya V.A. Khladagenty i khladonositeli sistem konditsionirovaniya vozdukhha [Refrigerants and coolants of air conditioning systems] *Nauchnyy zhurnal NIU ITMO. Seriya: Kholodil'naya tekhnika i konditsionirovaniye*, 2015, no. 3. pp.7–12.

RESUME

O. S. Voronova

Geometrical Model of Dependence the Physical Parameters of the Refrigerant R407C

Background: In this article, the geometric model of dependence the physical parameters of the refrigerant R407C is developed, for example the enthalpy dependence on temperature and volume of a substance. The proposed geometric model is a two-parameter response surface belonging to three-dimensional space. This makes it possible to determine all the necessary values the enthalpy parameters and provides the prerequisites for the creation of an automated design systems for calculation and construction the cycles of refrigeration machines, and description various processes of refrigeration equipment.

Materials and methods: The method of multi-dimensional interpolation was used to build the geometric model physical parameters of the refrigerant R407C. This method is implemented using the mathematical apparatus of geometric modeling the processes and phenomena – BN-calculation [6-9].

Results: The paper presents a computational algorithm of dependence the physical parameters of the refrigerant R407C, which is implemented using the method of multidimensional interpolation.

Conclusion: The geometric model of dependence the physical parameters of the refrigerant R407C is developed using the geometric modeling – BN-calculation. Analytical dependences the enthalpy on temperature and volume of substance are obtained. This approach allows us to obtain an analytical description of the desired process in the form of a system of parametric equations. The analysis of the convergence the values of enthalpy of the refrigerant with the calculated results of geometrical modeling in BN-calculation. Verification of the developed geometric model is presented. The coefficient of determination is $R^2=0,9968$ that indicates the quality of the simulation results.

РЕЗЮМЕ

О. С. Воронова

Геометрическая модель взаимозависимости физических параметров хладагента R407C

Справочная информация: В данной статье разработана геометрическая модель взаимозависимости физических параметров хладагента R407C на примере зависимости энтальпии от температуры и объема вещества. Предложенная геометрическая модель представляет собой двухпараметрическую поверхность отклика, принадлежащую трехмерному пространству. Это предоставляет возможность определить все необходимые значения параметров энтальпии и дает предпосылки для создания автоматизированных систем проектирования для расчета и построения циклов холодильных машин, а также описания различных процессов холодильной техники.

Материалы и методы: В работе для построения геометрической модели физических параметров хладагента R407C был применен метод многомерной интерполяции, реализованный с помощью математического аппарата геометрического моделирования процессов и явлений – БН-исчисление [6-9].

Результаты: В работе представлен вычислительный алгоритм взаимозависимости физических параметров хладагента R407C, который реализован при помощи метода многомерной интерполяции.

Выводы: На основе аппарата геометрического моделирования – БН-исчисление разработана геометрическая модель взаимозависимости физических параметров хладагента R407C, получены аналитические зависимости энтальпии от температуры и удельного объема вещества. Такой подход позволяет получить аналитическое описание искомого процесса в виде системы параметрических уравнений. Проведен анализ схожести значений энтальпии хладагента с расчетными результатами геометрического моделирования в БН-исчислении. Представлена верификация разработанной геометрической модели, при помощи коэффициента детерминации, который составил $R^2=0,9968$, что говорит о качестве результатов моделирования.

Статья поступила в редакцию 19.10.2018.