

УДК 004.942, 514.18, 519.652

О. С. Воронова

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

КОНСТРУИРОВАНИЕ СОСТАВНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ОТКЛИКА ПРИМЕНИТЕЛЬНО К МОДЕЛИРОВАНИЮ ЗАВИСИМОСТИ ФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ХЛАДАГЕНТА

O. S. Voronova

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

CREATION THE COMPOUND RESPONSE SURFACES APPLIED TO MODELING THE DEPENDENCE REFRIGERANT PHYSICAL PARAMETERS

О. С. Воронова

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

КОНСТРУЮВАННЯ СКЛАДОВИХ ПОВЕРХОНЬ ВІДГУКУ СТОСОВНО МОДЕЛЮВАННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ФІЗИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ХОЛОДОАГЕНТУ

В работе исследованы способы конструирования составных поверхностей отклика применительно к решению задач моделирования на примере зависимости физических параметров холодильного агента R407C. Исследована возможность повышения точности моделирования за счёт выбора различных опорных контуров и образующей поверхности отклика на одном и том же поле исходных точек. В результате, несмотря на высокие значения коэффициента детерминации, только увеличение дискретизации отсеков поверхности отклика позволило получить качественную геометрическую модель, значения параметров которой соответствуют не только исходным данным, но и промежуточным значениям.

Ключевые слова: план-схема модели, геометрическая модель, отсек поверхности отклика, опорные контуры, образующая поверхности, параметры хладагента.

In this paper, the methods of creating the compound response surfaces in relation to the solution problems to modeling on example the dependence physical parameters of the refrigerant R407C were investigated. The possibility of increasing the accuracy of modeling is investigated by choosing different support contours and forming the response surface on the same field of initial points. As a result, high values the determination coefficients were obtained. But only an increase discretization the response surface compartments made it possible to obtain a qualitative geometric model. In this model, the parameter values correspond not only to the original data, but also to intermediate values.

Key words: layout of the model, geometrical model, response surface compartment, support contours, forming surfaces, refrigerant parameters.

У роботі досліджено способи конструювання складових поверхонь відгуку стосовно вирішення задач моделювання на прикладі залежності фізичних параметрів холодильного агента R407C. Досліджено можливість підвищення точності моделювання за рахунок вибору різних опорних контурів і утворюючої поверхні відгуку на одному і тому ж полі вихідних точок. В результаті, незважаючи на високі значення коефіцієнта детермінації, тільки збільшення дискретизації відсіків поверхні відгуку дозволило отримати якісну геометричну модель, параметри якої відповідають не тільки вихідним даним, але і проміжним значенням.

Ключові слова: план-схема моделі, геометрична модель, відсік поверхні відгуку, опорні контури, утворююча поверхні, параметри холодоагенту.

Моделирование многофакторных процессов и явлений является неотъемлемой частью в ходе получения новых знаний, которое позволяет заменить исследуемый процесс некоторой аналитической зависимостью. При этом исследуемый процесс чаще всего представляется единой моделью, которая описывается одним уравнением. Однако в инженерной практике встречается ряд задач, для которых невозможно одним уравнением описать весь процесс в целом и возникает необходимость дискретизации его элементов, с учётом их взаимного взаимодействия. Такой подход приобрёл особенно широкую популярность за последние полвека со стремительным развитием современной компьютерной техники, обладающей высокой вычислительной способностью. Например, он используется для решения широкого спектра задач с помощью метода конечных элементов [1], являющегося основой для всех современных САПР. При этом весь процесс в пределах исследуемой области разбивается на несколько стыкующихся между собой участков, каждый из которых описывается своим уравнением.

В данной работе также предлагается разбить геометрическую модель на несколько объектов, стыкующихся между собой по нулевому порядку гладкости, который необходимо было обеспечить для корректного решения поставленной задачи. Таким образом, геометрическую модель можно представить в виде совокупности нескольких уравнений, которые описывают геометрические объекты. Для аналитического описания геометрической модели используется математический аппарат геометрического моделирования процессов и явлений – БН-исчисление [2], [3].

План-схема моделирования поверхностей отклика, которые описывают термодинамические процессы холодильной техники

В работе [4] на основе термодинамической диаграммы $\log P-h$ холодильного агента R407C [5], [6] была предложена геометрическая модель зависимости энтальпии от температуры и объема вещества, которая является поверхностью отклика, разбитой на два отсека. Продолжая эти исследования, рассмотрим моделирование физического состояния холодильного агента R407C на примере зависимости давления от температуры и объема вещества как геометрическую модель поверхности отклика, состоящую из нескольких стыкующихся между собой отсеков.

Для построения геометрической модели по термодинамической диаграмме $\log P-h$ выделим исходные и искомые параметры хладагента. Исходными параметрами (факторами влияния) является t – температура вещества, °C и v – удельный объем, м³/кг. Давление насыщения – P , Бар – это искомый параметр, который в данном случае является функцией отклика. Тогда геометрическая модель процесса физического состояния хладагента представляется поверхностью отклика, которая является двухпараметрическим множеством точек и принадлежит трехмерному пространству.

При рассмотрении термодинамической диаграммы $\log P-h$ холодильного агента R407C [5], [6] было установлено, что после линии насыщенного пара происходит резкое изменение кривизны изотерм. В результате чего моделируемую поверхность, которая отображает протекание процесса, невозможно с необходимой точностью описать единым уравнением. Поэтому было принято решение о разбиении геометрической модели на два отсека поверхности отклика. Тогда первый отсек будет представлять собой зону парожидкостной смеси, а второй – зону перегретого пара. Оба отсека стыкуются между собой по пространственной кривой линии, которая представляет собой линию насыщенного пара.

В соответствии с план-схемой геометрической модели (рис. 1), ограничим искомую поверхность отклика в следующих пределах: для температуры $t = -40-60^\circ\text{C}$ и для удельного объема $v = 0,0088-0,264 \text{ м}^3/\text{кг}$.

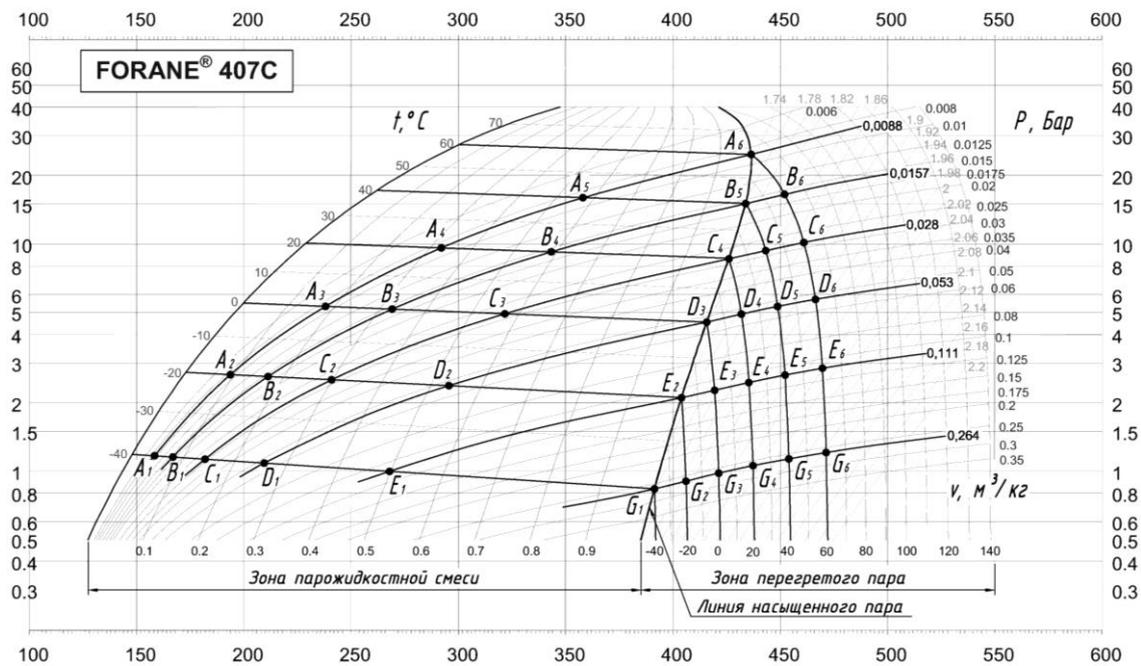


Рисунок 1 – План-схема геометрической модели зависимости давления от температуры и объема вещества

В соответствии с разработанной план-схемой геометрической модели параметров холодильного агента R407C, точки A_i , B_i , C_i , D_i , E_i и G_i представляют собой исходные точки для моделирования, которым соответствуют графически измеренные значения параметров вещества. Исследуем поведение геометрической модели в зависимости от выбора опорных и образующих контуров отсеков поверхности отклика, которые описывают термодинамические процессы холодильной техники.

Модель зависимости давления от температуры и объема вещества с опорными контурами, проходящими по изотермам

Для построения геометрической модели, в соответствии с разработанной план-схемой, выделим опорные контуры, которые проходят по изотермам. Сформируем первый отсек поверхности отклика для параметров хладагента в зоне парожидкостной смеси (рис. 2).

Сгруппируем 21 исходную точку в 6 опорных контуров – P_1 , P_2 , P_3 , P_4 , P_5 и P_6 (по количеству зафиксированных изотерм). При этом движение текущих точек опорных контуров согласовано параметром u . Текущая точка P является образующей отсека поверхности и при помощи криволинейной интерполяции объединяет все фиксированные состояния исследуемого процесса [7].

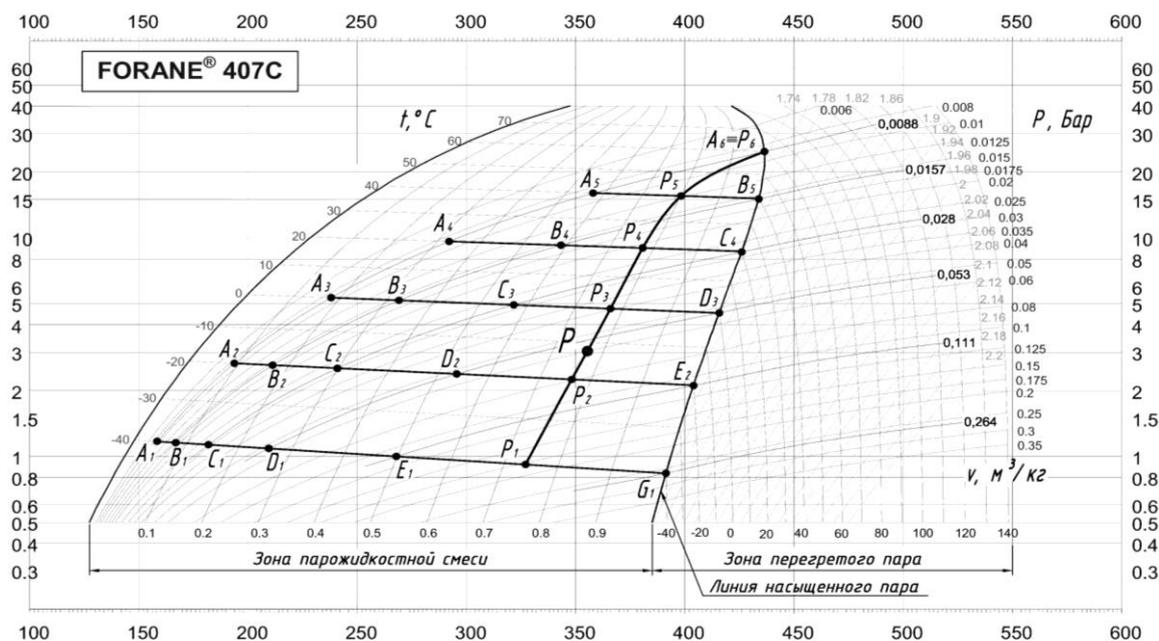


Рисунок 2 – План-схема первого отсека поверхности отклика с опорными контурами, проходящими по изотермам

Для первого опорного контура P_1 запишем точечное уравнение дуги кривой 5-го порядка, проходящей через 6 наперед заданных точек [7]:

$$\begin{aligned}
 P_1 = & A_1 (\bar{u}^5 - 6, 4\bar{u}^4 u + 11, 2\bar{u}^3 u^2 - 6, 4\bar{u}^2 u^3 + \bar{u} u^4) + \\
 & + B_1 (25\bar{u}^4 u - 60, 4\bar{u}^3 u^2 + 38, 5\bar{u}^2 u^3 - 6, 3\bar{u} u^4) + \\
 & + C_1 (-25\bar{u}^4 u + 122, 9\bar{u}^3 u^2 - 95, 8\bar{u}^2 u^3 + 16, 7\bar{u} u^4) + \\
 & + D_1 (16, 7\bar{u}^4 u - 95, 8\bar{u}^3 u^2 + 122, 9\bar{u}^2 u^3 - 25\bar{u} u^4) + \\
 & + E_1 (-6, 3\bar{u}^4 u + 38, 5\bar{u}^3 u^2 - 60, 4\bar{u}^2 u^3 + 25\bar{u} u^4) + \\
 & + G_1 (\bar{u}^4 u - 6, 4\bar{u}^3 u^2 + 11, 2\bar{u}^2 u^3 - 6, 4\bar{u} u^4 + u^5),
 \end{aligned} \tag{1}$$

где u – текущий параметр, который определяет положение текущей точки на соответствующем опорном контуре и изменяется от 0 до 1; $\bar{u} = 1 - u$ – дополнение параметра до 1.

Опорный контур P_2 зададим с помощью уравнения дуги кривой 4-го порядка, проходящей через 5 наперед заданных точек:

$$\begin{aligned}
 P_2 = & A_2 \left(\bar{u}^4 - \frac{13}{3} \bar{u}^3 u + \frac{13}{3} \bar{u}^2 u^2 - \bar{u} u^3 \right) + B_2 \left(16\bar{u}^3 u - \frac{64}{3} \bar{u}^2 u^2 + \frac{16}{3} \bar{u} u^3 \right) + \\
 & + C_3 \left(-12\bar{u}^3 u + 40\bar{u}^2 u^2 - 12\bar{u} u^3 \right) + D_4 \left(\frac{16}{3} \bar{u}^3 u - \frac{64}{3} \bar{u}^2 u^2 + 16\bar{u} u^3 \right) + \\
 & + E_5 \left(-\bar{u}^3 u + \frac{13}{3} \bar{u}^2 u^2 - \frac{13}{3} \bar{u} u^3 + u^4 \right).
 \end{aligned} \tag{2}$$

Третий опорный контур P_3 опишем при помощи точечного уравнения дуги кривой 3-го порядка, проходящей через 4 наперед заданные точки:

$$P_3 = A_3(\bar{u}^3 - 2,5\bar{u}^2u + \bar{u}u^2) + B_3(9\bar{u}^2u - 4,5\bar{u}u^2) + C_3(-4,5\bar{u}^2u + 9\bar{u}u^2) + D_3(\bar{u}^2u - 2,5\bar{u}u^2 + u^3). \quad (3)$$

Четвертый и пятый опорные контуры определим соответственно с помощью точечных уравнений параболы и прямой:

$$P_4 = A_4\bar{u}(1-2u) + 4\bar{u}uB_4 + C_4u(2u-1), \quad (4)$$

$$P_5 = A_5\bar{u} + B_5u. \quad (5)$$

Для определения образующей поверхности отклика, которая описывается текущей точкой P , запишем следующее точечное итоговое уравнение, которое аналогично уравнению (1), но проходит через текущие точки опорных контуров и определяется параметром w :

$$P = P_1(\bar{w}^5 - 6,4\bar{w}^4w + 11,2\bar{w}^3w^2 - 6,4\bar{w}^2w^3 + \bar{w}w^4) + P_2(25\bar{w}^4w - 60,4\bar{w}^3w^2 + 38,5\bar{w}^2w^3 - 6,3\bar{w}w^4) + P_3(-25\bar{w}^4w + 122,9\bar{w}^3w^2 - 95,8\bar{w}^2w^3 + 16,7\bar{w}w^4) + P_4(16,7\bar{w}^4w - 95,8\bar{w}^3w^2 + 122,9\bar{w}^2w^3 - 25\bar{w}w^4) + P_5(-6,3\bar{w}^4w + 38,5\bar{w}^3w^2 - 60,4\bar{w}^2w^3 + 25\bar{w}w^4) + P_6(\bar{w}^4w - 6,4\bar{w}^3w^2 + 11,2\bar{w}^2w^3 - 6,4\bar{w}w^4 + w^5), \quad (6)$$

где w – параметр, который определяет положение текущей точки на образующей поверхности и изменяется от 0 до 1;

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

Для аналитического описания второго отсека поверхности отклика рассмотрим план-схему геометрического моделирования параметров хладагента в зоне перегретого пара (рис. 3).

Представленный отсек также определяется шестью опорными контурами и аналитически описывается точечными модифицированными уравнениями (5) – (1), предварительно подставив графически измеренные значения давления насыщения для второго отсека. Исходя из этого, первый опорный контур K_1 второго отсека поверхности отклика состоит из одной точки G_1 , которая является общей для первого и второго отсеков. Второй опорный контур – K_2 описывается модифицированным уравнением (5), третий – K_3 – модифицированным уравнением (4), четвертый – K_4 – модифицированным уравнением (3), пятый – K_5 – модифицированным уравнением (2) и последний шестой – K_6 , состоящий из шести точек – модифицированным уравнением (1). Чтобы определить образующую поверхности второго отсека, который описывается текущей точкой K , воспользуемся модифицированным уравнением (6), подставив найденные значения опорных контуров $K_1, K_2, K_3, K_4, K_5, K_6$ по соответствующим точечным модифицированным уравнениям.

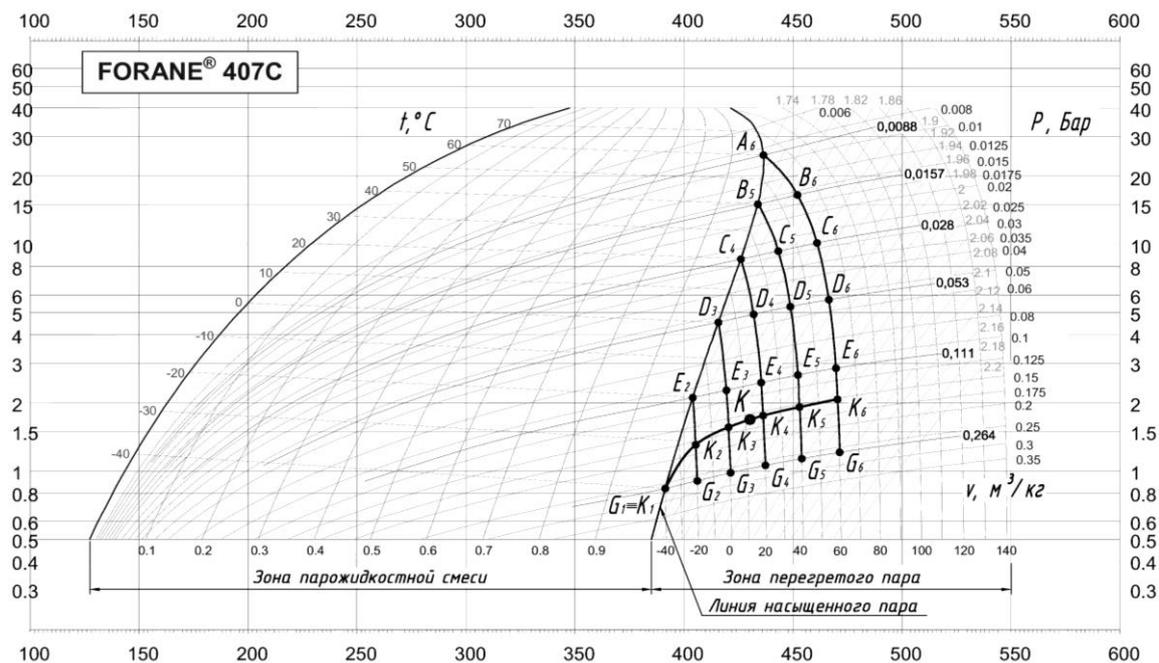


Рисунок 3 – План-схема второго отсека поверхности отклика с опорными контурами, проходящими по изотермам

Для наглядного изображения представим на рис. 4 визуализацию поверхности отклика модели зависимости давления от температуры и объема вещества с опорными контурами, проходящими по изотермам.

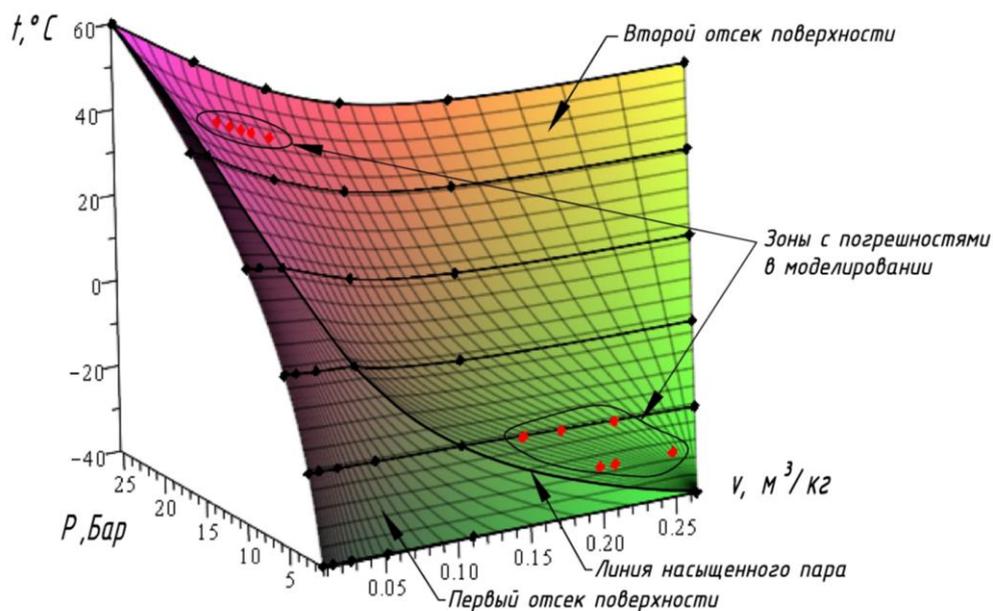


Рисунок 4 – Визуализация модели зависимости давления от температуры и объема вещества с опорными контурами, проходящими по изотермам

Проведём верификацию полученной модели с помощью коэффициента детер-

минации [8]. В результате точность геометрической модели достигла $R^2=0,9806$. Но, несмотря на высокий коэффициент детерминации, при сравнении с дополнительными промежуточными данными в количестве 100 точек, полученных в результате моделирования, с точками, значения которых взяты по термодинамической диаграмме $\log P-h$ были выявлены две зоны со значительными погрешностями в моделировании. Обе зоны с отклонениями принадлежат второму отсеку поверхности отклика и выделены на рис. 4. Первая зона с отклонениями насчитывает 5 точек и имеет границы: $t=40-60^\circ\text{C}$, $v=0,0088-0,028 \text{ м}^3/\text{кг}$, во второй зоне насчитывается 6 точек в пределах: $t=-40-30^\circ\text{C}$, $v=0,125-0,264 \text{ м}^3/\text{кг}$. Погрешность значений давления насыщения в 11 точках, принадлежащих этим зонам, достигает 30%. Исходя из этого, можно сделать вывод, что полученная геометрическая модель не позволяет обеспечить необходимую точность моделирования, поэтому исследуем возможность повышения точности решения данной задачи путем изменения опорных контуров на изохоры.

Модель зависимости давления от температуры и объема вещества с опорными контурами, проходящими по изохорам

По аналогии с моделированием параметров давления насыщения, которое описано выше, возьмем те же исходные точки и определим опорные контуры, проходящие по изохорам. Как показано на рис. 5 геометрическая модель поверхности отклика также состоит из двух отсеков, каждый из которых содержит 21 исходную точку. Текущие точки M и N , являются соответственно образующими первого и второго отсеков поверхности отклика.

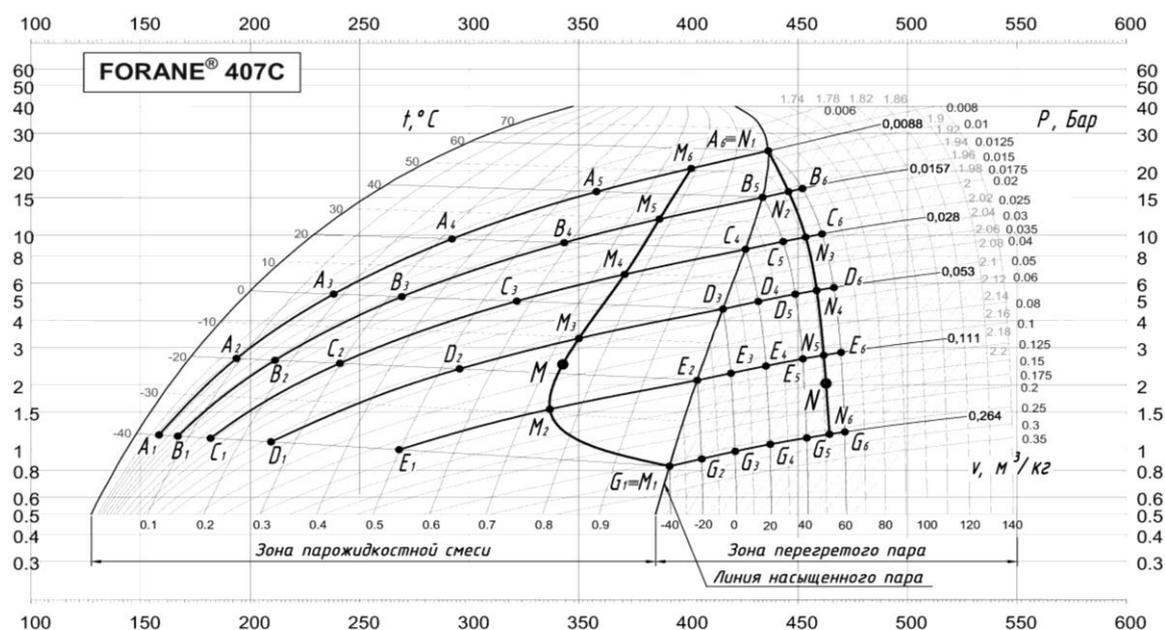


Рисунок 5 – План-схема поверхности отклика с опорными контурами, проходящими по изохорам

Представим визуализацию геометрической модели поверхности отклика зависимости давления от температуры и объема вещества с опорными контурами,

проходящими по изоходам (рис. 6).

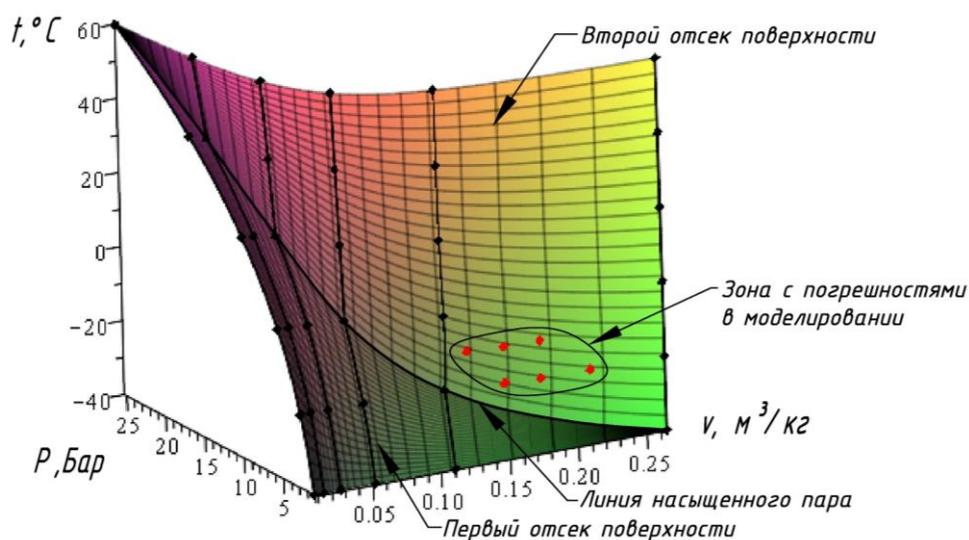


Рисунок 6 – Визуализация модели зависимости давления от температуры и объема вещества с опорными контурами, проходящими по изоходам

Вместо двух зон с погрешностями в моделировании, которые были выявлены в геометрической модели с опорными контурами, проходящими по изотермам, образовалась новая зона. Данная зона находится на втором отсеке поверхности отклика в области $t=-30-0^\circ\text{C}$, $v=0,111-0,25\text{м}^3/\text{кг}$. При этом коэффициент детерминации вырос до $R^2=0,9994$. Однако при сравнении результатов моделирования с исходными точками максимальное значение отклонения в зоне с погрешностями достигает 18%. То есть изменение опорных контуров хоть и увеличило точность моделирования, но не принесло желаемого результата. Первая зона, которая была проблемной в изотермической модели, стабилизировалась, однако вторая зона с отклонениями изменила свои границы.

Следует отметить, что увеличение количества опорных контуров также не привело к желаемому результату, так как все точки, которые участвуют в построении, оказывают влияние на геометрическую модель. Поэтому если в одной зоне ситуация стабилизируется, то в другой – появляются отклонения при сравнении с дополнительными промежуточными данными.

Составная модель зависимости давления от температуры и объема вещества, состоящая из четырех отсеков

Для того чтобы повысить точность моделирования, разобьем геометрическую модель на четыре отсека поверхности отклика. Аналогично, описанным выше геометрическим моделям, представим составную модель, которая состоит из четырех отсеков с опорными контурами, проходящими по изоходам (рис. 7).

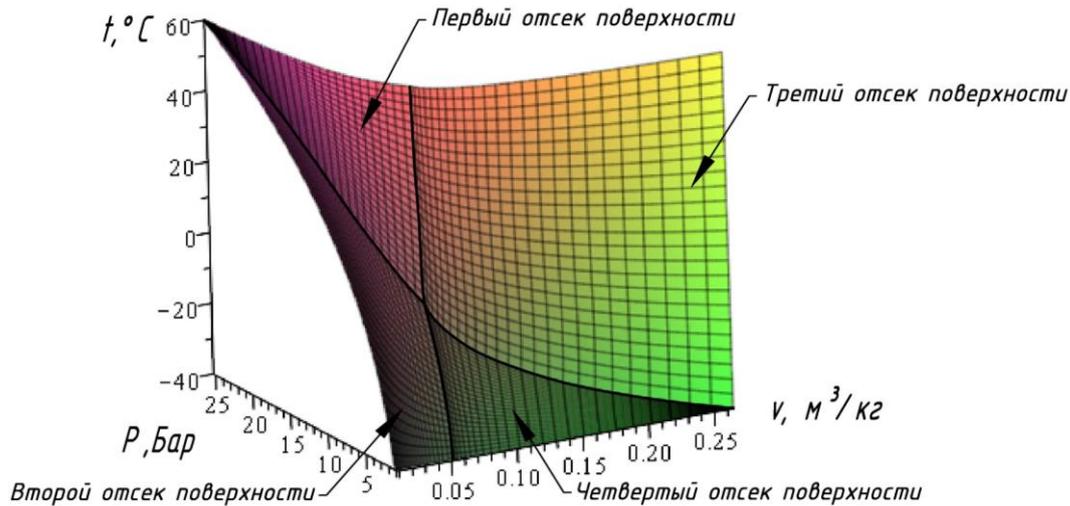


Рисунок 7 – Визуализация составной модели, состоящей из четырех отсеков

В результате проверки полученная геометрическая модель имеет коэффициент детерминации, который составил $R^2=0,9996$. Приведем фрагмент таблицы со сравнением результатов исследований в проблемных зонах, которые удалось стабилизировать посредством разбиения модели на четыре отсека (табл. 1).

Таблица 1 – Оценка достоверности геометрических моделей (фрагмент)

$t, ^\circ\text{C}$	$v, \text{м}^3/\text{кг}$	$P, \text{Бар}$ значения по диаграмме	Изотермическая модель		Изохорная модель		Изохорная модель, состоящая из 4 отсеков	
			$P, \text{Бар}$ значения по модели	%	$P, \text{Бар}$ значения по модели	%	$P, \text{Бар}$ значения по модели	%
50	0,0125	18,81	13,4	28,5	19,1	1	19,1	1,5
50	0,015	16,51	12,3	25,5	16,3	1,2	16,5	0,02
50	0,0175	14,63	11,4	22,1	14,4	1,8	14,5	0,7
50	0,02	13,31	10,6	20,2	12,9	3,1	13	2,4
50	0,025	10,99	9,34	15	10,8	2,1	10,8	1,8
-10	0,125	1,95	1,95	0,2	1,71	12	1,79	8,3
-10	0,15	1,65	1,64	0,7	1,39	16	1,51	8,7
-10	0,175	1,43	1,41	1,7	1,2	16	1,31	8,3
-20	0,15	1,58	1,8	-14	1,38	13	1,48	6,1
-20	0,175	1,38	1,6	-16	1,14	17	1,27	7,9
-20	0,21	1,15	1,33	-16	0,97	16	1,06	8,1
-30	0,2	1,16	1,4	-20	1,07	8	0,94	2,5
-30	0,21	1,1	1,4	-27	1,01	8,6	1,12	3,1
-30	0,25	0,92	1,19	-29	0,89	3,8	1,06	3,6

Исходя из этого, можно сделать вывод о том, что дискретизация геометрической модели дает возможность получить более качественную геометрическую модель зависимости давления от температуры и объема вещества. Полученная модель соответствует не только исходным, но и промежуточным данным значениям давления насыщения в количестве 100 точек, которые участвовали для проведения сравнительного анализа. Средняя погрешность составной геометрической модели, состоящей из четырех отсеков с опорными контурами по изохорам, составила 2,66%, а максимальное отклонение от исходных данных не превышает 9%.

Выводы

В данной статье показана целесообразность использования составных поверхностей отклика для моделирования сложных двухфакторных процессов на примере зависимости давления от температуры и объема хладагента R407C. Для оценки эффективности геометрического моделирования выполнен сравнительный анализ значений давления, найденных по термодинамической диаграмме $\log P-h$, с расчетными значениями, которые получены в результате геометрического моделирования. Так, коэффициент детерминации изотермической модели составил $R^2=0,9806$, а изохорной модели – $R^2=0,9994$. Но, несмотря на высокие значения коэффициента детерминации, обе модели имеют зоны с погрешностями, которые при сравнении с промежуточными данными достигают 30%. При этом с увеличением дискретизации исследуемой области, наблюдается стабилизация зон с погрешностями моделирования. Например, если разбить геометрическую модель на 4 стыкующиеся между собой отсека, то коэффициент детерминации достигает $R^2=0,9996$, а максимальное отклонение от исходных данных не превышает 9%. Таким образом, увеличивая количество отсеков поверхности отклика можно получить более качественные результаты, если они будут необходимы для особо точных расчетов.

Список литературы

1. Секулович М. Метод конечных элементов [Текст] / Пер. с серб. Ю. Н. Зуева; Под ред. В. Ш. Барбакадзе. – М. : Стройиздат, 1993. – 664 с., ил.
2. 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.
3. 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.
4. Воронова О. С. Геометрическая модель взаимозависимости физических параметров хладагента R407C [Текст] / О. С. Воронова // Проблемы искусственного интеллекта. – Донецк : ГУ ИПИИ. – 2018. – № 4 (11). – С. 52–61.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. Конопацкий Е. В. Аппроксимация геометрических объектов с помощью дуг кривых, проходящих через наперёд заданные точки [Текст] / Е. В. Конопацкий // Информационные технологии. – М.: 2019. – № 1. – Т. 25 – С. 46–52. – DOI: 10.17587/it.25.46–51.

References

1. Sekulovich M. *Metod konechnykh elementov* [The finite element method], M, Stroiizdat, 1993. pp. 664.
2. Balyuba I.G., Najdysh V.M. *Tochechnoe ischislenie* [Point calculation]. Melitopol, 2015. 236 p.
3. Naydysh V.M., Balyuba Y.H., Vereshchaha V.M. *Alhebra BN-yschyslenyya. Pryingkladna 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.
4. Voronova O. S. Geometrical Model of Dependence the Physical Parameters of the Refrigerant R407C [Problems of artificial intelligencel. Donetsk: GU IPII. 2018. № 4 (11). pp. 52–61.

5. 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.
6. Nikitin A.A., Ryabova T.V., Vasilenok A.V., Pavlovskaya V.A. Khladagenty i khladonositeli sistem konditsionirovaniya vozdukha [Refrigerants and coolants of air conditioning systems] *Nauchnyy zhurnal NIU ITMO. Seriya: Kholodil'naya tekhnika i konditsionirovaniye*, 2015, no. 3. pp. 7–12.
7. 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.
8. Konopatskiy E.V. Approksimatsiya geometricheskikh ob'yektov s pomoshch'yu dug krivykh, prokhodyashchikh cherez naperod zadannyye tochki [Approximation of geometric objects using arcs of curves passing through to advance given points]. *Information technologies. M 2019.* – № 1. - Т. 25 - pp. 46-52. - DOI: 10.17587 / it.25.46–51.

RESUME

O. S. Voronova

Creation the Compound Response Surfaces Applied to Modeling the Dependence Refrigerant Physical Parameters

Background: The paper describes creation the compound response surfaces applied to modeling the dependence of pressure on temperature and volume substance. The developed models belong to three-dimensional space and demonstrate the possibility of splitting the geometric model into different support contours. The reference contours pass through isotherms and isochors, which greatly affects the quality of the obtained results of modeling pressure parameters.

Materials and methods: The method of multidimensional interpolation [7] was used to simulate the dependence refrigerant physical parameters on the example of the pressure dependence on the temperature and volume substance. This method is implemented using the mathematical apparatus of geometric modeling processes and phenomena – BN-calculation [2], [3].

Results: The paper presents geometric models of the dependence refrigerant physical parameters. A comparative analysis is presented the partitioning these models, depending on changes in the support and forming contours, and number of compartments the response surface.

Conclusion: On the basis of the mathematical apparatus – BN-calculus, geometric models are presented the dependence refrigerant physical parameters by the example of the dependence pressure on temperature and volume substance. A comparative analysis is presented the splitting of geometric models into 2 compartments the response surface depending on the change of support contours. In the first case, the support contours pass through the isotherms, and in the second – through the isochors. So the determination coefficient [8] the isothermal model was $R^2=0,9806$, and the isochoric model – $R^2=0,9994$. The values of determination coefficient are high, but both geometric models have zones with deviations that reach 30%. It was decided to split the investigated area of a geometric model in 4 compartments interconnected with each other with support contours that pass through the isochors. As a result, the determination coefficient of the compound model was $R^2=0,9996$ and the maximum deviation from the initial data does not exceed 9%. Therefore, in the case of describing complex physical processes, discretization greatly improves the quality of simulation results.

РЕЗЮМЕ

О. С. Воронова

Конструирование составных поверхностей отклика применительно к моделированию зависимости физических параметров хладагента

Справочная информация: В работе описано конструирование составных поверхностей отклика применительно к моделированию зависимости давления от температуры и объема вещества. Разработанные модели принадлежат трехмерному пространству и наглядно демонстрируют возможность разбиения геометрической модели на опорные контуры, проходящие по изотермам и изохорам, что в значительной мере влияет на качество получаемых результатов моделирования параметров давления.

Материалы и методы: В работе для моделирования зависимости физических параметров хладагента на примере зависимости давления от температуры и объема вещества был использован метод многомерной интерполяции [7], который реализован при помощи математического аппарата геометрического моделирования процессов и явлений – БН-исчисление [2], [3].

Результаты: В работе представлены геометрические модели зависимости физических параметров хладагента, а также проведен сравнительный анализ при разбиении данных моделей в зависимости от изменения опорных и образующих контуров, и количества отсеков поверхности отклика.

Выводы: На основе математического аппарата – БН-исчисление представлены геометрические модели зависимости физических параметров хладагента на примере зависимости давления от температуры и объема вещества. Проведен сравнительный анализ при разбиении геометрических моделей на 2 отсека поверхности отклика в зависимости от изменения опорных контуров, которые в первом случае проходят по изотермам, а во втором – по изохорам. Так коэффициент детерминации [8] изотермической модели составил $R^2=0,9806$, а изохорной модели – $R^2=0,9994$. Несмотря на высокие значения коэффициента детерминации, обе геометрические модели имеют зоны с отклонениями, которые при сравнении с промежуточными данными достигают 30%. Поэтому, было принято решение разбить исследуемую область геометрической модели на 4 стыкующиеся между собой отсека с опорными контурами, которые проходят по изохорам. В результате, коэффициент детерминации достиг $R^2=0,9996$, а максимальное отклонение от исходных данных не превышает 9%. Поэтому в случае описания сложных физических процессов, дискретизация в значительной мере повышает качество результатов моделирования.

Статья поступила в редакцию 23.01.2019.