

до 75 с для шипшини та 60 с для обліпихи та калини.

Результати досліджень представлені (рис. 1 – 3). При подрібненні ягід у ВШФЧ спостерігалось різке збільшення кількості зруйнованих клітин, що прискорювало процес екстрагування, оскільки відбувалося безпосереднє розчинення мінеральних речовин. Натомість в клітинах, які залишалися не зруйнованими відбувався складний процес дифузії через пористу перегородку, що значно перешкоджало та уповільнювало процес екстрагування [3].

Встановлено, що обробка ягід у ВШФЧ сприяє більш повному вилученню мінеральних речовин. Так масова частка мінеральних речовин з ягід шипшини вилучається більше на 10...23 %, обліпихи на 12...22 %, калини на 13...22 %, у порівнянні із контролем (рис 4).

Для більш повного вивчення дії ВШФЧ на рослину сировину нами були проведені дослідження з визначення залежності концентрації мінеральних речовин від тривалості екстрагування. За результатами дослідження встановлено, що показники мінерального складу екстрактів із плодів, які оброблені у ВШФЧ збільшуються на 9...25 %. Тривалість настоювання скорочується у 2 – 4 рази (рис. 5, 6, 7, 8, 9).

Таке підвищення вмісту мінеральних речовин в екстрактах із ягід оброблених у ВШФЧ можливо пояснити суттєвою механодеструкцією та механоактивацією, яка має місце при дрібнодисперсному подрібненні, що відбувається в робочій камері апарату ВА – 100 [7].

Висновки:

- проведені дослідження мінерального складу ягід шипшини, обліпихи і калини Полтавської області вказують на підвищений вміст цих речовин у порівнянні із ягодами інших регіонів України;
- встановлено раціональні режими обробки ягід у ВШФЧ, що для ягід шипшини складає 75 с., а для ягід обліпихи та калини 60 с.;
- визначено, що обробка у ВШФЧ призводить до більш повного вилучення мінеральних речовин з ягід шипшини на 10...23 %, обліпихи на 12...22 %, калини на 13...22 %
- проаналізовано залежність концентрації мінеральних речовин у рослинних екстрактах з ягід шипшини, обліпихи та калини оброблених у ВШФЧ від тривалості настоювання і встановлено скорочення тривалості настоювання у 2 – 4 рази.

Поступила 11.2010

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Мухамедшин К.Д. Повышать эффективность использования пищевых ресурсов леса / К.Д. Мухамедшин, Р.К. Мухамедшин // Лесное хозяйство. - 2005. - №2. - С. 24 – 26.
2. Дібрівська Н. Технологія функціональних напівфабрикатів добавок із дикорослих ягід з використанням обробки в змінному електромагнітному полі : дис. ... канд. техн. наук: 05.18.16 / Дібрівська Наталія Віталіївна. – Х., 2009 – 273 с.
3. Осипова Л.А. Функциональные напитки [Монография] / Осипова Л.А., Капельянец Л.В., Бурдо О.Г. – Одесса: Издательство “Друк”, 2007, - 208 с.
4. ГОСТ 26449.1 – 85 Установки дистилляционные опреснительные стационарные. Методы химического анализа соленых вод: - [Введен в действие 1987-01-01]. – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 45 с.
5. ГОСТ 23268.5 – 78 Воды минеральные питьевые лечебные, лечебно-столовые и природные столовые. Метод определения ионов кальция и магния: - [Введен в действие 1980-01-01]. – М.: Изд-во стандартов, 1980. – 15 с.
6. ГОСТ 18309 – 72 Вода питьевая. Метод определения содержания полифосфатов: - [Введен в действие 1974-01-01]. – М.: Изд-во стандартов, 1974. – 5 с.
7. Павлюк Р.Ю. Новые технологии антоциановых добавок (Новое в технологии консервирования) : [Монография] / Р.Ю. Павлюк, В.В. Яницкий, Т.В. Крячко, Г.И. Максименко, Л.М. Соколова, Н.Ф. Максимова; Харьк. гос. ун-т пит. и торговли; Департамент пищ. Пром-сти министр. агр. полит. Украины. – Харьков-Киев, 2008. – 261 с.: ил.; табл. Библиогр.: 430 назв.

УДК 621.575

ИЩЕНКО И.Н., аспирант, ТИТЛОВ А.С., д-р техн. наук, доцент, ОСАДЧУК Е.А., ассистент
Одесская национальная академия пищевых технологий

ИНЖЕНЕРНЫЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ И ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ РАБОЧЕГО ТЕЛА АБСОРБЦИОННОГО ХОЛОДИЛЬНОГО АГРЕГАТА

Приводятся простые инженерные соотношения для надежного расчета термодинамических параметров и теплофизических свойств рабочего тела абсорбционного холодильного агрегата

Ключевые слова: термодинамические параметры и теплофизические свойства водоаммиачного раствора, водорода.

Simple engineering correlations over are brought for the reliable calculation of thermodynamics parameters and thermophysical properties of working body of absorption refrigeration aggregate

Keywords: thermodynamics parameters and thermophysical properties of ammonia-water mixture, hydrogen.

Традиционным рабочим телом абсорбционного холодильного агрегата (АХА) является водоаммиачная смесь с инертным выравнивающим газом, в качестве которого могут быть использованы: водород, гелий или их смесь [1].

При работа АХА происходит разделение и перераспределение компонентов рабочей смеси. Водоаммиачный раствор (ВАР) циркулирует по жидкостному теплообменнику между генератором-термосифоном и абсорбером. Дефлегматор АХА содержит водоамми-

ачную паровую смесь, причем на выходе концентрация паров воды близка к нулю. В конденсатор АХА попадает чистый пар аммиака, где сжижается с отводом тепла в окружающую среду. Жидкий аммиак поступает через трехпоточный регенеративный теплообменник на вход испарителя АХА. В испарителе и абсорбере находится парогазовая смесь. Разность концентраций компонентов смеси изменяется по длине рабочих зон.

Для проведения термодинамического расчета и эксергетического анализа циклов АХА, а в последствии и для конструкторского расчета необходимо иметь соотношения для определения термодинамических параметров и теплофизических свойств ВАР и инертного газа.

К сожалению, как показывает практика, приведенные в различных источниках расчетные зависимости [2, 3], непригодны для расчета термодинамиче-

ских параметров и теплофизических свойств рабочего тела АХА.

Ниже приведены наиболее удобные формулы для инженерного расчета термодинамических параметров, полученные из обработки табличных данных [2, 3] и других авторов [4-6].

Аммиак (жидкость):

а) давление насыщения (кривая упругости), Па:

$$P_S = (11,8226931 - 0,1001716287 \cdot T_S + 2,14106984 \cdot T_S^2) \cdot 10^{-1} \quad (1)$$

где T_S – абсолютная температура, К.

Максимальная погрешность в диапазоне $T_S = 243...293$ К составляет 1,05%. Полином с третьей степенью позволяет провести более точные расчеты (максимальная погрешность не превышает 0,1%).

Для $283\text{K} \leq T_S \leq 273\text{K}$:

$$P_S = -126,61391 + 1,7377414 \cdot T_S - 0,080475397 \cdot T_S^2 + 0,000012595867 \cdot T_S^3 \quad (2)$$

Для $273\text{K} \leq T_S \leq 323\text{K}$:

$$P_S = -250,26489 + 3,0893981 \cdot T_S - 0,012978372 T_S^2 + 0,00001858752 \cdot T_S^3 \quad (3)$$

б) температура насыщения (кривая упругости):

Для $233\text{K} \leq T_S \leq 272\text{K}$

$$T_S = 214,61261 + 30,384008 \cdot P_S - 6,4396148 \cdot P_S^2 + 0,59036818 \cdot P_S^3 \quad (4)$$

Для $274\text{K} \leq T_S \leq 323\text{K}$

$$T_S = 244,66123 + 7,9325998 \cdot P_S - 0,31733158 \cdot P_S^2 + 0,005750705 \cdot P_S^3 \quad (5)$$

где P_S – давление насыщения, бар.

Максимальная погрешность расчетов по формуле (4) – 0,13%, по формуле (5) – 0,08%.

в) плотность жидкости на линии насыщения, кг/м³:

$$\rho_S = 688,956 + 1,4128326 \cdot T_S - 7,3178964 \cdot 10^{-3} \cdot T_S^2 + 53,98735 \cdot T_S^3 \quad (6)$$

г) удельная энтальпия жидкой фазы на линии насыщения, кДж/кг:

Для $233\text{K} \leq T_S \leq 273\text{K}$

$$i_S = -676,90316 + 4,4147568 \cdot T_S - 0,0018507936 \cdot T_S^2 + 5,3872054 \cdot 10^{-6} \cdot T_S^3 \quad (7)$$

Для $274\text{K} \leq T_S \leq 323\text{K}$

$$i_S = -1197,3618 + 10,031193 \cdot T_S - 0,022080773 \cdot T_S^2 + 0,000029768956 \cdot T_S^3 \quad (8)$$

Максимальная погрешность расчетов по формуле (7) – 0,01%, по формуле (8) – 0,008%.

д) удельная энтропия жидкой фазы на линии насыщения, кДж/кг:

Для $233\text{K} \leq T_S \leq 273\text{K}$

$$s_S = -7,7183881 + 0,068478078 \cdot T_S - 0,00017210236 \cdot T_S^2 + 1,8921939 \cdot 10^{-7} \cdot T_S^3 \quad (9)$$

Для $274\text{K} \leq T_S \leq 323\text{K}$

$$s_S = -6,4591346 + 0,053345907 \cdot T_S - 0,00011777888 \cdot T_S^2 + 1,0942905 \cdot 10^{-7} \cdot T_S^3 \quad (10)$$

Максимальная погрешность расчетов по формуле (9) – 0,1%, по формуле (10) – 0,003%.

Аммиак (пар):

а) удельный объем на линии насыщения, м³/кг:

Для $233\text{K} \leq T_S \leq 273\text{K}$

$$v_S = 289,33164 - 3,1828623 \cdot T_S + 0,011731406 \cdot T_S^2 - 0,000014472054 \cdot T_S^3 \quad (11)$$

Для $274\text{K} \leq T_S \leq 323\text{K}$

$$v_S = 36,136894 - 0,332019 \cdot T_S + 0,0010247042 \cdot T_S^2 - 1,0605348 \cdot T_S^3 \quad (12)$$

Максимальная погрешность расчетов по формуле (11) – 2,1%, по формуле (12) – 1,0%.

б) перегретый пар, удельный объем, м³/кг:

$$v = -45,227393 - 2,4050172 \cdot P + 19,207728 \cdot P^2 - 0,41786686 \cdot T -$$

$$- 0,060688596 \cdot P \cdot T - 0,12479029 \cdot P^2 \cdot T - 0,00090377406 \cdot T^2 +$$

$$+ 0,00024803483 \cdot P \cdot T^2 + 0,00019996043 \cdot T^2 \cdot P^2 \quad (13)$$

где P – давление, бар, T – температура, К.

Максимальная погрешность расчетов по формуле (13) – 0,8% в диапазоне $P = 1,194...2,908$ бар и $T = 248...273$ К.

в) удельная энтальпия на линии насыщения, кДж/кг:

Для $233\text{K} \leq T_S \leq 273\text{K}$

$$i_S = 1778,7692 - 4,7787547 \cdot T_S + 0,03050898 \cdot T_S^2 - 0,000048483560 \cdot T_S^3 \quad (14)$$

Для $274\text{K} \leq T_S \leq 323\text{K}$

$$i_S = 1953,3241 - 5,9769516 \cdot T_S + 0,032289773 \cdot T_S^2 - 0,000047504782 \cdot T_S^3 \quad (15)$$

Максимальная погрешность расчетов по формуле (14) – 0,014%, по формуле (15) – 0,002%.

г) удельная энтропия на линии насыщения, кДж/(кг·К):

Для $233\text{K} \leq T_S \leq 273\text{K}$

$$s_S = 29,608732 - 0,22022209 \cdot T_S + 0,00073703873 \cdot T_S^2 - 8,7472665 \cdot 10^{-7} \cdot T_S^3 \quad (16)$$

Для $274\text{K} \leq T_S \leq 323\text{K}$

$$s_S = 18,222089 - 0,088913449 \cdot T_S + 0,00023228945 \cdot T_S^2 - 2,2818109 \cdot 10^{-7} \cdot T_S^3 \quad (17)$$

Максимальная погрешность расчетов по формуле (16) – 0,1%, по формуле (17) – 0,012%.

д) удельная теплота парообразования, кДж/кг:

$$r = (2160,15 - 5,84406 \cdot T_S + 19,705032 \cdot 10^{-3} \cdot T_S - 37,829268 \cdot 10^{-6} \cdot T_S^3) \cdot 10^{-3} \quad (18)$$

ВАР (жидкость)

Работа элементов АХА, заполненных ВАР протекает при давлении ~ 20 бар. Изменение давления в системе АХА определяется изменением температуры окружающего воздуха. Комфортным температурам воздуха в помещении соответствует давление в системе 19...22 бар. Следовательно, допущение о работе на изобаре 20 бар достаточно правомерно.

а) температура насыщения (при $P_S = 20$ бар):

$$T_S = -1750,8260 + 2,4521602 \cdot i_S' - 0,00093180731 \cdot (i_S')^2 + 0,12099516 \cdot 10^{-6} \cdot (i_S')^3 \quad (19)$$

При расчетах по формуле (19) максимальная погрешность 0,11%, средняя погрешность – 0,06%.

$$T_S = -1677,0105 + 10,395355 \cdot i_S' - 0,021394661 \cdot (i_S')^2 + 0,22181365 \cdot (i_S')^3 -$$

$$- 0,11397303 \cdot 10^{-7} \cdot (i_S')^4 + 0,2322271 \cdot 10^{-11} \cdot (i_S')^5 \quad (20)$$

При расчетах по формуле (20) максимальная погрешность – 1,6%, средняя погрешность – 0,15%.

Современные методики термодинамического расчета [7] используют в зависимости температуры насыщения ВАР от концентрации жидкого раствора и паровой смеси (при $P=2,0$ МПа), К:

$$T_S = 491,58293 - 374,5972 \cdot \xi' + 270,62911 \cdot (\xi')^2 - 65,307543 \cdot (\xi')^3 \quad (21)$$

Максимальная погрешность расчетов по формуле (4.21) – 0,074%, средняя погрешность – 0,019%.

$$T_S = 1968,9238 - 13690,266 \cdot \xi' + 48177,521 \cdot (\xi')^2 -$$

$$- 81997,187 \cdot (\xi')^3 - 67391,833 \cdot (\xi')^4 - 21514,637 \cdot (\xi')^5 \quad (22)$$

Максимальная погрешность расчетов по формуле (22) – 1,32%, средняя погрешность – 0,32%.

б) давление насыщения ВАР в зависимости от температуры насыщения (К) и массовой концентрации жидкого раствора, МПа:

$$P_S = -10,573925 + 0,099490827 \cdot T_S - 0,31232795 \cdot 10^{-3} \cdot T_S^2 + 0,32805176 \cdot 10^{-6} \cdot T_S^3 +$$

$$+ 5,1220974 \cdot \xi' + 0,015941003 \cdot T_S \cdot \xi' - 0,27369379 \cdot \xi' \cdot T_S^2 + 0,53942343 \cdot \xi' \cdot T_S^3 -$$

$$- 10,679055 \cdot (\xi')^2 + 0,121644821 \cdot (\xi')^2 \cdot T_S - 0,56511629 \cdot 10^{-3} \cdot (\xi')^2 \cdot T_S^2 +$$

$$+ 0,97729372 \cdot 10^{-6} \cdot (\xi')^2 \cdot T_S^3, \quad (23)$$

В диапазоне давлений 0,02 МПа – 0,2 МПа максимальная погрешность расчетов по формуле (23) – 3,1 %, средняя погрешность – 0,4%.

в) концентрация жидкого раствора в диапазоне реализации режимных параметров АХА ($P_S=2,0$ МПа):

$$\xi' = -407,71166 + 806248,5 \cdot T_S - 0,6372714 \cdot 10^9 \cdot T_S^2 + 0,25152291 \cdot 10^{12} \cdot T_S^3 - 0,49547539 \cdot 10^{14} \cdot T_S^4 + 0,3898860 \cdot 10^{-16} \cdot T_S^5 \quad (24)$$

Максимальная погрешность расчетов по формуле (24) – 4,28%, средняя погрешность – 0,71%.

г) удельная энтальпия жидкого ВАР в диапазоне рабочих концентраций, кДж/кг:

$$i_S = -1420,0085 + 8,4353449 \cdot T_S - 0,0064670318 \cdot T_S^2 + 3973,5503 \cdot \xi' - 32,203334 \cdot \xi' \cdot T_S + 0,052372586 \cdot \xi' \cdot T_S^2 - 4614,2350 \cdot (\xi')^2 + 34,299769 \cdot (\xi')^2 \cdot T_S - 0,051458103 \cdot (\xi')^2 \cdot T_S^2 \quad (25)$$

Максимальная погрешность расчетов по формуле (25) – 4,26%, средняя погрешность – 0,14%.

Инертный газ – водород

а) удельная энтальпия, кДж/кг:

$$i = 14,41645 \cdot P + 0,3561123 \cdot T - 61,48778 \quad (26)$$

б) плотность или удельный объем водорода с большой точностью можно рассчитать по формулам для идеального газа [42]:

$$P \cdot V = \frac{m}{\mu} \cdot R \cdot T \quad (27)$$

После нескольких преобразований плотность водорода:

$$\rho = \frac{P \cdot \mu}{R \cdot T} \quad (28)$$

и удельный объем водорода:

$$v = \frac{R \cdot T}{P \cdot \mu} \quad (29)$$

Инертный газ – гелий

а) удельная энтальпия, кДж/кг:

$$i = 0,1796442 \cdot P + 5,187243 \cdot t + 1427,883 \quad (30)$$

где P – давление в системе, бар; t – температура, °C.

Аппроксимационная зависимость (30) применима в диапазоне $P = 0,1 \dots 2,0$ МПа и $t =$ минус 33...плюс 27 °C.

б) плотность, кг/м³:

$$\rho = 0,1755019 \cdot P - 0,004318572 \cdot t + 0,01844730 \quad (31)$$

Формула (31) применима в диапазоне параметров формулы (30).

Теплофизические свойства рабочего тела АХА

Аммиак – жидкость:

а) коэффициент поверхностного натяжения, Па/м:

$$\sigma = (13,95485570 - 4,855706528 \cdot 10^{-2} \cdot T_S + 3,392842689 \cdot 10^{-5} \cdot T_S^2) \cdot 10^{-2} \quad (32)$$

Формула (32) применима в диапазоне $T_S = 243 \text{ К} \dots 293 \text{ К}$. Максимальная погрешность – 0,08 %, средняя погрешность – 0,06%.

б) коэффициент динамической вязкости, Па·с:

$$\mu' = (184,6204002 - 1,04614170 \cdot T_S + 1,5892835577 \cdot 10^{-3} \cdot T_S^2) \cdot 10^{-5} \quad (33)$$

Формула (33) применима в диапазоне $T_S = 243 \text{ К} \dots 293 \text{ К}$, с максимальной погрешностью – 0,35 %, средней погрешностью – 0,29%.

Формулы (32) и (33) получены путем аппроксимации табличных данных [4, 5].

Для расчета вязкости можно также использовать рекомендованную формулу [8]:

$$\mu' = (-24,66205 + 2,118989 \cdot 10^4 \cdot \frac{1}{T_S} - 5,952856 \cdot 10^6 \cdot (\frac{1}{T_S})^2 + 5,840031 \cdot 10^8 \cdot (\frac{1}{T_S})^3) \cdot 10^{-4} \quad (34)$$

в) коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К) [8]:

$$\lambda' = 0,969382 - 3,070368 \cdot 10^{-4} \cdot T_S - 6,7660272 \cdot 10^{-6} \cdot T_S^2 + 7,7788965 \cdot 10^{-9} \cdot T_S^3 \quad (35)$$

г) изобарная удельная теплоемкость, Дж/(кг·К) [8]:

$$C_P' = (4,6172 - 4,26024 \cdot 10^{-3} \cdot T_S + 5,2256988 \cdot 10^{-6} \cdot T_S^2 + 39,743971 \cdot 10^{-9} \cdot T_S^3) \cdot 10^3 \quad (36)$$

Аммиак (пар)

а) коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К) [8]:

$$\lambda'' = (-10,2653 + 0,141442 \cdot T_S - 5,86406 \cdot 10^{-4} \cdot T_S^2 + 8,6287 \cdot 10^{-7} \cdot T_S^3) \cdot 10^{-3} \quad (37)$$

б) коэффициент динамической вязкости, Па·с [8]:

$$\mu'' = (46,9872 - 0,394342 \cdot T_S + 1,12598 \cdot 10^{-3} \cdot T_S^2 - 6,8394 \cdot 10^{-7} \cdot T_S^3) \cdot 10^{-6} \quad (38)$$

в) изобарная теплоемкость, Дж/кг [8]:

$$C_P = (20,5376 - 0,147682 \cdot T_S + 2,97799 \cdot 10^{-4} \cdot T_S^2) \cdot 10^3 \quad (39)$$

ВАР (жидкость)

а) коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К) [9]:

$$\lambda'_{см} = \frac{\lambda_1 \cdot (1 - \xi') + \lambda_2 \cdot \xi'}{1,163}, \quad (40)$$

где λ_1, λ_2 – коэффициенты теплопроводности чистых компонентов, соответственно воды и аммиака, Вт/(м·К);

ξ – массовая концентрация аммиака в ВАР, кг/кг смеси.

б) коэффициент динамической вязкости, Па·с [8]:

$$\mu'_{см} = (1,566 - 0,0334 \cdot T_S + 0,0002406 \cdot T_S^2 + 2,822 \cdot \xi' - 0,0219 \cdot T_S \cdot \xi' - 0,00025 \cdot T_S^2 \cdot \xi' - 3,99 \cdot (\xi')^2 - 0,0322 \cdot T_S \cdot (\xi')^2 + 0,001 \cdot T_S^2 \cdot (\xi')^2) \cdot 10^{-3} \quad (41)$$

в) коэффициент поверхностного натяжения, Па/м [10]:

$$\sigma = 2,069 \cdot 10^{-4} \cdot (647,12 - T_S) \quad (42)$$

Водоаммиачная смесь (пар)

Коэффициент динамической вязкости, Па·с [8]:

$$\mu'_{см} = (0,866 + 0,0000753 \cdot T_S + 0,00001 \cdot T_S^2 + 0,09163 \cdot \xi'' + 0,00952 \cdot T_S \cdot \xi'' - 0,000106 \cdot T_S^2 \cdot \xi'' + 0,172 \cdot (\xi'')^2 - 0,0079 \cdot T_S \cdot (\xi'')^2 + 0,000104 \cdot T_S^2 \cdot (\xi'')^2) \cdot 10^{-5} \quad (43)$$

Инертный газ (водород)

а) изобарная теплоемкость, Дж/(кг·К) [6]:

$$C_P = 13,27515 + 0,03284449 \cdot P + 0,003693182 \cdot T \quad (44)$$

где P – давление, МПа; T – температура, К.

б) коэффициент динамической вязкости, Па·с [10]:

$$\mu = (1,7042610 \cdot P + 2,096299 \cdot t + 836,55490) \cdot 10^{-8} \quad (45)$$

где P – давление, МПа; t – температура, К.

в) коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К) [6]:

$$\lambda_{\text{нл}} = 0,0005 \cdot T + 0,033, \quad (46)$$

Формула (46) применима в диапазоне $P=0,1 \dots 4,0$ МПа и $T=240 \dots 300$ °C.

г) коэффициент самодиффузии водорода:

$$D = 0,745 \cdot 10^{-4} \text{ при } T=273 \text{ К и } P=0,1 \text{ МПа [6].}$$

Инертный газ (гелий)

а) изобарная теплоемкость гелия во всем диапазоне давлений и температур, характерных для работы АДХА постоянна и равна 5196 Дж/(кг·К) [6].

б) коэффициент динамической вязкости, Па·с [6]:

$$\mu = (0,45 \cdot T + 63,15) \cdot 10^{-7} \quad (47)$$

Формула (4.47) применима в диапазоне $T=273 \dots 293$ К и $P=0,1 \dots 50$ МПа, t – минус 23...100 °C) можно использовать следующее соотношение [8]:

$$\mu = (0,7482995 \cdot P + 0,1635599 \cdot t^2 - 12,19899 \cdot t - 188,0082) \cdot 10^{-7}, \text{ Па·с (48)}$$

где P – давление, МПа; t – температура, °C.

в) коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К) [6]:

Для диапазона $T=273 \dots 323$ К

$$\lambda = 3,48 \cdot 10^{-4} \cdot T + 0,048, \quad (49)$$

Для диапазона $T=273 \dots 320$ К и $P=0,1 \dots 5,0$ МПа

$$\lambda = (0,578213 \cdot P - 0,002217345 \cdot T^2 + 0,4395512 \cdot T + 1410524) \cdot 10^{-3} \quad (50)$$

Выводы.

1. Для надежного расчета термодинамических параметров и теплофизических свойств рабочего тела АХА можно использовать соотношения авторов [8-10].

2. Недостаточные соотношения были получены путем аппроксимации табличных данных по термодинамическим параметрам и теплофизическим свойствам рабочего тела АХА.

3. Все приведенные соотношения позволяют с достаточной точностью проводить инженерные расчеты циклов АХА и элементов АХА.

Поступила 11.2010

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тітлов О.С. Науково-технічні основи створення енергозберігаючих побутових абсорбційних холодильних приладів / О.С. Тітлов, М.Д. Захаров // Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій. – 2009. – № 35. – Т.1. – С. 113-127.
2. Заторский А.А. Алгоритм расчета параметров узловых точек циклов абсорбционных водоаммиачных холодильных машин // Химическое и нефтяное машиностроение – 1978. – № 8. – С. 18-19.
3. Manuel Conde-Petit. Thermophysical Properties of $\{NH_3 + H_2O\}$ mixtures for the industrial design of absorption refrigeration equipment // Zurich : M.CONDE ENGINEERING, 2006. – 38 p.
4. Богданов С.Н., Иванов О.П., Куприянова А.В. Холодильная техника. Свойства веществ. Справочник. Изд. 3-е, перераб. и доп., М.: Агропромиздат, 1985. – 208 с.
5. Богданов С.Н., Бурцев С.И., Иванов О.П., Куприянова А.В. Холодильная техника. Кондиционирование воздуха. Свойства веществ: Справ./Под ред. С.Н.Богданова. – 4-е изд., перераб. и доп. – СПб.: СПбГАХПТ, 1999. – 320 с.
6. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. – М.: Наука, 1972. – 720 с.
7. Іщенко І. М. Моделювання і аналіз циклів абсорбційних водоаміачних холодильних машин / І.М. Іщенко, О.С. Тітлов // Наукові праці ОНАХТ. – 2009. – № 36. – Т.2. – С. 263-266.
8. Иванов О.П., Мамченко В.О. Уравнение для нахождения теплофизических свойств воды и некоторых хладагентов в зависимости от температуры // Холодильная техника. – 1977. – № 3. – С. 32-33.
9. Рид Р., Праусниц Дж., Шервуд Т. Свойства газов и жидкостей. – Изд. 3-е, перераб. и доп. – Л.: Химия., 1982. – 592 с.
10. Осипов Ю.В., Третьяков Н.П., Некрасов Н.Н. Тепло - и массообмен при абсорбции аммиака водоаммиачным раствором из водородоаммиачной смеси. // Холодильная техника. – 1971. – № 9. – С. 47-50.

УДК 663.93

КОЗОНОВ Т.В., начальник производства фирмы «UkrCoffee», Ильичевск, Одесская область

КОЗОНОВА Ю.А., ассистент, канд. техн. наук, ТИТЛОВ А.С., доцент, д-р техн. наук

Одесская государственная академия пищевых технологий

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОФЕ

Представлены результаты теплофизических исследований основных свойств кофе: плотности, теплопроводности и теплоемкости методом экспериментальных исследований

Ключевые слова: кофе, теплофизические исследования, теплопроводность, теплоемкость

The results of thermophysical researches of basic properties of coffee are presented: to the closeness, heat conductivity and heat capacity by the method of experimental researches

Keywords: coffee, thermophysical researches, heat conductivity, heat capacity

На предприятии по производству кофе «UkrCoffee» проводится проектирование системы кондиционирования воздуха (СКВ) для поддержания требуемых параметров воздушной среды в производственных и складских помещениях.

Для проектирования СКВ необходима информация о теплопритоках в обрабатываемое помещение, в том числе и о теплопритоках, вносимых продуктами и сырьем [1], в частности с необжаренными зёрнами кофе.

Проведенный анализ научно-технической литературы и интернет-ресурсов [2, 3], показал полное отсутствие справочных данных о теплофизических свойствах кофе, которые необходимы для расчета его тепловых режимов – теплоемкости, теплопроводности и температуропроводности.

Кроме этого отсутствуют данные о плотности как зёрен (зерновки) кофе, так и натуры зёрна кофе (насыпной плотности зёрна кофе).

Теоретический расчет теплофизических свойств не только насыпной плотности зёрна кофе, но и самих зерновок, невозможно провести из-за большого количества неизвестных факторов – пористости зерновки, скважности слоя дисперсного материала, теплофизических компонентов составляющих зёрна кофе.

В связи с вышеизложенным, был выбран экспериментальный метод определения теплофизических характеристик кофе в виде зерновой массы.

Таким образом, задача данного исследования состоит в следующем:

- а) в определении насыпной плотности зёрна кофе;
- б) в разработке методики теплофизических исследований свойств зерновой массы кофе;
- в) в проведении теплофизических исследований и обработки их результатов.

Для проведения теплофизических исследований сотрудниками предприятия по производству кофе «UkrCoffee» были переданы образцы зёрен кофе.

Натура или насыпная плотность зёрна кофе определялась традиционным объемно-весовым методом [2, 3] с помощью лабораторного оборудования Одесской национальной академии пищевых технологий (ОНАПТ).

Получено значение насыпной плотности зёрна кофе $\rho_{нас} = 674 \text{ кг/м}^3$ или удельный объем насыпной плотности зёрна $v_{нас} = 1,484 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{кг}$.

Согласно рекомендациям [2], физическая плотность зерновки кофе определялась погружением зерновой массы в воду.

Получена истинная или физическая плотность зерновки кофе $\rho_{физ} = 1087 \text{ кг/м}^3$ и скважность (порозность) слоя дисперсного материала (зерновой массы), которая представляет собой отношение объема воздушных пор в слое к общему объему слоя $\varepsilon = 0,38$.

С учетом жестких ограничений по времени при выборе методов теплофизических исследований остановились на экспресс-методах [2, 5], которые позволяют оперативно провести исследования с достаточной для инженерных расчетов точностью.