

ОБ УЧЕТЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЖИДКИХ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ ПРИ РАСЧЕТАХ ТЕПЛООБМЕНА

При расчетах нагрева, охлаждения и выпаривания жидких продуктов необходимо учитывать их теплофизические свойства (ТФС): плотность, удельную теплоемкость, динамическую μ и кинематическую ν вязкости, тепло- и температуропроводность (λ и a). Чаще всего такой учет производится с помощью безразмерного комплекса этих ТФС — теплового числа Прандтля Pr , которое характеризует подобие в неизо-термической среде и зависит от термодинамического состояния среды.

Среди известных веществ одним из наиболее широких диапазонов изменения величины Pr обладают сахарные растворы [4]. Для них в интервалах $t = 0 - 140^\circ\text{C}$ и массовых процентных концентраций сухих веществ $CB = 0 - 90\%$ значения Pr меняются более чем в миллион раз (при этом λ и a изменяются менее чем в 3 раза).

Для сравнения данных по Pr различных жидких продуктов за основу удобно взять диаграмму Pr растворов сахарозы (рисунок). На поле этой диаграммы (пересыщение $\Pi = 1,0$ разделяет зоны ненасыщенных и пересыщенных растворов) автором нанесены значения Pr следующих продуктов: молоко цельное жирностью 3,2 % ($CB = 11,5\%$, $t = 10 - 80^\circ\text{C}$, $Pr = 19 - 4,2$) [8, 9]; сливки жирностью 35 % ($CB = 41\%$, $t = 10 - 100^\circ\text{C}$; $Pr = 490 - 21,6$) [8, 9]; глицерин ($t = 10 - 110^\circ\text{C}$, $Pr = 80 - 3,5$) [6]; этиловый спирт ($t = 10 - 80^\circ\text{C}$, $Pr = 18,7 - 8,1$) [7]; мед ($CB = 82\%$, $t = 10 - 40^\circ\text{C}$, $Pr = 1,8 \times 10^5 - 8,1 \cdot 10^3$) [8,9]; водно-спиртовой раствор ($CB = 60\%$, $t = 10 - 80^\circ\text{C}$; $Pr = 48 - 6,8$) [7]; водный раствор патоки глюкозного производства ($CB = 50\%$ и $CB = 60\%$, $t = 60 - 100^\circ\text{C}$) [2]; раствор хлористого натрия ($CB = 25\%$, $t = 10 - 100^\circ\text{C}$, $Pr = 20 - 1,8$) [6]; водный раствор глюкозы ($CB = 50\%$ и $CB = 70\%$, $t = 50 - 75^\circ\text{C}$) [2].

Для продуктов с одинаковыми CB и t , но разного качественного состава значения Pr различны. Они растут при понижении t и при повышении CB . С ростом величины Pr растет толщина гидродинамического пограничного слоя по сравнению с тепловым и увеличивается влияние переноса количества движения на интенсивность теплообмена.

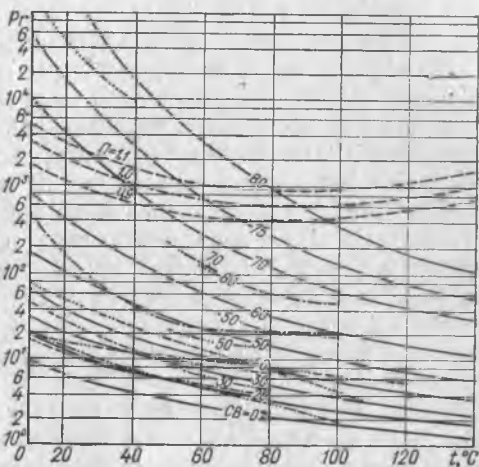
Наряду с экспериментами по определению ТФС ведутся попытки их расчета на основе теоретических и эмпирических уравнений и приближенных закономерностей [5]. Например, λ и α для имеющих близкую природу соков из плодов, овощей и ягод почти не зависят от вида сока и могут быть описаны универсальными уравнениями при $CB \leq 60\%$ [1]. Следует отметить, что молярная масса воды ($M = 18,015 \text{ г} \times \text{моль}^{-1}$) сравнительно мала и молярная концентрация сухих веществ в растворе значительно ниже массовой (например, для раствора сахарозы $CB = 60\%$ соответствует молярной концентрации только $7,3\%$).

Основное влияние на величину Pr оказывает вязкость (изменения μ и ν происходят почти одинаково). К. Ф. Павлов [3] установил возможность нахождения μ изучаемой жидкости, которая известна лишь при некоторых (не менее чем двух) температурах, для других представляющих интерес температур на основе μ эталонной жидкости и правила линейности химико-технических функций. Например, используя раствор сахарозы с CB порядка 70% в качестве эталонной жидкости, можно находить μ растительного масла или μ глицерина, и наоборот.

Так как μ меняется в широких пределах, при построении графиков удобнее брать $\lg \mu$ или $\ln \mu$. Зависимость между $\ln \mu$ и T^{-1} близка к линейной, т. е. $\ln \mu = a_0 + a_1 T^{-1}$. Здесь a_0 и a_1 — постоянные. Такая же зависимость характерна и для Pr , что дает возможность использовать формулу

$$(\ln Pr_{и, t1} - \ln Pr_{и, t2}) / (\ln Pr_{э, t1} - \ln Pr_{э, t2}) = \text{const} = m$$

Для значения чисел Прандтля изучаемой ($Pr_{и}$) и эталонной ($Pr_{э}$) жидкостей при одинаковых температурах t_1 и t_2 , можно ша-



Числа Прандтля для молока цельного (жирность $3,2\%$) (— · — · —); сливок (жирность 35%) (— · — · —); глицерина (— · — · —); сахарного раствора (— · — · —); этилового спирта (— · — · —); меда (— · — · —); водно-спиртового раствора (60%) (— · — · —); водного раствора патоки (— · — · —); хлористого натрия (— · — · —); водного раствора глюкозы (— · — · —).

числить постоянную n , а затем найти $P_{г,и}$ при интересующей нас температуре:

$$P_{г,и,t} = P_{г,и,t_1} (P_{г,и,t_1} / P_{г,и,t})^{-n}.$$

Например, для раствора глюкозы с $CB = 60\%$ при 50 и 80 °C $P_{г,и}$ равны 53,4 и 18,6. Для раствора сахарозы с $CB = 55\%$ (эталонная жидкость) при тех же температурах значения $P_{г,и}$ равны 55 и 23,4. Вычислив n (1,23), для температур 60 и 70 °C получим $P_{г,и}$, равные 35,4 и 24,8 (табличные значения 35,1 и 24,7).

Для раствора хлористого натрия с $CB = 25\%$ при 20 и 80 °C значения $P_{г,и}$ равны 15 и 2,9, а для эталонного раствора сахарозы с $CB = 20\%$ при тех же температурах значения $P_{г,и}$ равны 13,3 и 3,7. Вычислив n (1,28), для температур 40 и 60 °C получим $P_{г,и}$, равные 7,9 и 4,4 (табличные значения 8,0 и 4,7).

Методика приближенного определения температурной зависимости $P_{г,и}$ пригодна для различных жидких продуктов. На результат расчета влияет точность исходных данных, пределы интер- или экстраполяции. Вычисленные значения $P_{г,и}$ могут на несколько процентов отличаться от истинных значений. В качестве эталонной желательнее использовать жидкость с наиболее достоверными значениями $P_{г,и}$ и широким диапазоном изменения $P_{г,и}$.

Более надежные результаты получаются, когда изучаемая и эталонная жидкости близки по физико-химической природе (например, растворы сахарозы и глюкозы), по численным значениям $P_{г,и}$ и, естественно, когда отсутствуют какие-либо фазовые переходы.

Список литературы

1. Гинзбург А. С., Громов М. А., Красовская Г. И. Теплофизические характеристики пищевых продуктов. М.: Пищ. пром-сть, 1980. 288 с.
2. Жура С. К. Исследование в области выпаривания глюкозных и патоочных растворов: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. К., 1961. 20 с.
3. Павлов К. Ф., Романков П. Г., Носков А. А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. Л.: Химия. Ленингр. отд-ние. 1976. 552 с.
4. Попов В. Д., Синат-Радченко Д. Е. Числа Прандтля чистых цукровых растворов. — Харчова пром-сть: Респ. міжвід. наук.-техн. зб., 1971, вип. 13, с. 40—42.
5. Рид Р., Шервуд Т. Свойства газов и жидкостей. Л.: Химия. Ленингр. отд-ние. 1971. 704 с.
6. Справочник химика. М.; Л.: Химия, 1968, т. 5, 976 с.
7. Стабников В. Н., Ройтер И. М., Процюк Т. Б. Этиловый спирт. М.: Пищ. пром-сть, 1976. 272 с.
8. Химический состав пищевых продуктов. М.: Пищ. пром-сть, 1976. 228 с.
9. Чубик И. А., Маслов А. М. Справочник по теплофизическим характеристикам пищевых продуктов и полуфабрикатов. М.: Пищ. пром-сть, 1970. 184 с.