

**А.Ф. Сорокопуд, Н.А. Шеменова, Н.Г. Третьякова**

## **ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОНЦЕНТРАТА КВАСНОГО СУСЛА**

Исследовано влияние температуры и содержания сухих веществ на физико-химические свойства (плотность, вязкость, поверхностное натяжение) концентрата квасного сусла. Представлен анализ результатов экспериментальных исследований физико-химических свойств концентрата квасного сусла, определенными методами, получившими наибольшее распространение в экспериментальной практике. Получены уравнения множественной регрессии, характеризующие изменение плотности, динамической вязкости и поверхностного натяжения в зависимости от широкого диапазона температур и содержания сухих веществ в концентрате квасного сусла.

Концентрат квасного сусла, плотность, вязкость, поверхностное натяжение.

### **Введение**

Российскую кухню невозможно представить без кваса. Первые упоминания об этом напитке относят к X веку. Несмотря на столь солидный возраст, квас по-прежнему любим в народе за свои непревзойденные вкусовые качества. Помимо этого, он обладает еще и бактерицидными свойствами, регулирует процессы пищеварения, улучшает обмен веществ в организме. Он также обладает высокой энергетической ценностью, содержит массу полезных микроэлементов и аминокислот [1].

Раньше квасное сусло приготавливали настойным и рациональным способами, которые сейчас применяются редко. Сейчас одним из наиболее распространенных и экономически выгодных способов производства кваса является приготовление его из концентрата квасного сусла. Это позволяет снизить потери сухих веществ (на 15–18 %) за счет более полного извлечения экстрактивных веществ из исходного сырья по сравнению с настойным способом и, что самое главное, перевести производство кваса на индустриальную основу [1].

Применение концентратов квасного сусла и кваса вместо квасных хлебцев или хлебоприпасов позволяет повысить содержание сухих веществ в квасном сусле, в результате чего сокращается расход сахара на производстве кваса. При этом физико-химические показатели кваса остаются в пределах, предусмотренных действующими стандартами, а органолептические показатели за счет более высокого содержания в квасе экстрактивных веществ хлебного сырья значительно улучшаются [1].

Выработка концентратов квасного сусла и концентратов кваса на специализированных заводах упрощает механизацию и автоматизацию погрузочно-разгрузочных и транспортно-складских работ при разгрузке исходного сырья и отгрузке готовой продукции, что позволяет снизить трудовые и денежные затраты на производство продукции [2].

Кроме того, при производстве напитков из концентратов вследствие уменьшения объемов исходного сырья значительно снижаются транспортные расходы и затраты на строительство складских помещений для хранения сырья [2].

В связи с тем, что квасное сусло является термолабильным продуктом, процессы его переработки

должны проводиться в оптимальном температурно-временном режиме при невысоких температурах и с небольшой продолжительностью контакта продукта с теплообменной поверхностью. Наиболее распространенным и экономически выгодным способом концентрирования таких пищевых продуктов является выпаривание под вакуумом. Для его проведения в пищевой промышленности широкое применение получили пленочные и роторно-пленочные вакуумные выпарные аппараты.

Роторные распылительные испарители (РРИ) в отличие от распространенных выпарных аппаратов характеризуются значительно большей интенсивностью процессов тепло- и массообмена. Формирование поверхности контакта фаз в РРИ осуществляется при многократном диспергировании раствора в поле центробежных сил. Достигнутая таким путем дополнительная турбулизация пленочного течения жидкости в аппарате предопределяет высокую интенсивность процессов теплообмена. РРИ обладают небольшим гидравлическим сопротивлением при высокой плотности орошения, компактны, требуют невысоких затрат энергии на организацию своей работы [3].

Особую значимость при исследовании и проведении тепломассообменных процессов в выпарных аппаратах приобретают данные по физико-химическим свойствам модельной жидкости, поскольку они характеризуют параметры продукта вблизи точек фазовых переходов и в значительной мере предопределяют габаритные размеры создаваемого технологического оборудования [4]. Также эти данные необходимы при выборе рациональных и оптимальных режимов проведения процессов концентрирования в РРИ.

Поэтому целью настоящей работы является изучение физико-химических свойств квасного сусла как объекта исследования при его концентрировании в РРИ. Эти свойства позволят провести более точную оценку полученных результатов по эффективности РРИ при упаривании квасного сусла и пополнить информационную базу данных о физико-химических свойствах жидких пищевых полуфабрикатов.

### Объекты и методы исследований

В качестве объекта исследования использовали концентрат квасного суслу компании ООО «Домат-Д» (Белгородская обл., г. Бирюч), ТУ 9185-005-23452466-03. Физико-химические свойства (плотность, динамическая вязкость, поверхностное натяжение) квасного суслу определяли на растворах, полученных из этого концентрата.

Значительное содержание в квасном сусле солей, сахаров, кислот и других веществ, повышение содержания сухих веществ в процессе концентрирования вызывает значительные изменения физико-химических свойств.

Содержание сухих веществ,  $C_{св}$ , % масс., в концентрате квасного суслу определялось с помощью универсального лабораторного рефрактометра ИРФ-454Б2М [5], предел допускаемой погрешности измерения для которого по шкале сухих веществ по сахарозе  $\pm 0,1$  %. Необходимая концентрация суслу достигалась путем разведения концентрата  $C_{св} = 60$  % масс. водой.

Особенности методов исследования физико-химических свойств зависят от агрегатного состояния системы, а также определяются областью параметров состояния. Концентраты квасного суслу по структурным характеристикам могут быть отнесены к группе гомогенных микроскопических веществ, т.е. их можно условно рассматривать как полидисперсные системы, в которых влага является компонентом со свойствами, близкими к свойствам свободной влаги.

Плотность суслу является важным физическим параметром при расчете режимов течения, условий взаимодействия контактирующих фаз, она имеет важное значение при определении состава и качества суслу. Плотность квасного суслу  $\rho_c$ ,  $\text{кг/м}^3$ , в зависимости от температуры и концентрации определялась экспериментально методом пикнометрии [6], который широко применяется при подобных исследованиях.

Погрешность определения плотности квасного суслу при использовании данной методики составляет  $\pm 0,215$  %, что приемлемо для расчетной практики.

Вязкость является важным физико-химическим показателем. Она определяется величиной внутреннего трения между отдельными слоями жидкости, движущимися с разными скоростями. Таким образом, вязкость влияет на характер взаимодействия контактирующих фаз, режимы течения продукта и процессы тепло- и массообмена (процессы концентрирования и т.п.). Она влияет на численное значение безразмерного критерия Прандтля, определяемого физическими свойствами жидких сред при тепло- и массообмене [4].

Для измерения коэффициента динамической вязкости суслу  $\mu_c$ ,  $\text{Па}\cdot\text{с}$ , использовали капиллярный вискозиметр ВПЖ-2 с диаметром капилляра 1,31 мм [7, 8].

Погрешность измерения динамической вязкости по этой методике составила  $\pm 2,4$  %, что является достаточным для проведения технологических расчетов.

Поверхностное натяжение оказывает определяющее влияние на процесс пареобразования. Объясняется это тем, что наличие на поверхности жидкости молекул, не уравновешенных межмолекулярными

силами, создает в поверхностном слое свободную поверхностную энергию, стремящуюся уменьшиться. На поверхности жидкости как бы образуется пленка, обладающая поверхностным натяжением. Чтобы увеличить площадь поверхности жидкости, т.е. преодолеть ее поверхностное натяжение, необходимо затратить некоторое количество работы. Поэтому при кипении из верхнего слоя жидкости может вырваться та молекула, которая в состоянии преодолеть силы сцепления между молекулами в самой жидкости [7, 8].

Величина поверхностного натяжения зависит главным образом от природы жидкости и температуры. Для определения поверхностного натяжения квасного суслу  $\sigma_c$ ,  $\text{Н/м}$ , применяли метод наибольшего давления пузырька, разработанный академиком Ребиндером [8].

Погрешность измерения величины поверхностного натяжения составила  $\pm 1,54$  %.

Свойства квасного суслу определяли в интервале температур от  $t = 20 \dots 60$  °С. Концентрацию сухих растворимых веществ  $C_{св}$ , % масс., изменяли в пределах 10–60 % масс. Диапазон изменения параметров был выбран из анализа условий концентрирования в РРИ.

### Результаты и их обсуждение

Полученные опытные данные были обработаны на ЭВМ в среде статистического пакета EXCEL. В результате получены графические зависимости физико-химических свойств концентратов квасного суслу от температуры и содержания сухих веществ.

Зависимость плотности от температуры показана на рис. 1.

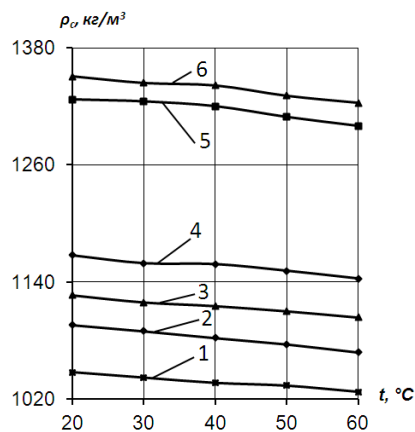


Рис. 1. Зависимость плотности квасного суслу от температуры: 1 –  $C_{св} = 10$  % масс.; 2 –  $C_{св} = 20$  % масс.; 3 –  $C_{св} = 30$  % масс.; 4 –  $C_{св} = 40$  % масс.; 5 –  $C_{св} = 50$  % масс.; 6 –  $C_{св} = 60$  % масс.

Исследования и анализ показали, что с увеличением температуры плотность квасного суслу снижается, что объясняется присутствием воды, плотность которой также снижается по мере возрастания температуры. С увеличением концентрации растворимых веществ в квасном сусле его плотность возрастает.

Анализ данных показал, что с увеличением температуры вязкость квасного суслу снижается (рис. 2).

Это объясняется тем, что вязкость обусловлена в первую очередь межмолекулярным взаимодействием, ограничивающим подвижность молекул. В жидкости молекула может перетекать в соседний слой лишь при образовании в нем полости, достаточной для перескакивания туда молекулы. На образование полости расходуется энергия активации вязкого течения. Энергия активации уменьшается с ростом температуры и понижением давления. В этом состоит одна из причин снижения вязкости с увеличением температуры. Кроме того, с повышением температуры звенья молекул высокомолекулярных соединений получают возможность колебаться более энергично и вязкость уменьшается [7, 8]. С повышением концентрации сухих веществ вязкость квасного суслу возрастает.

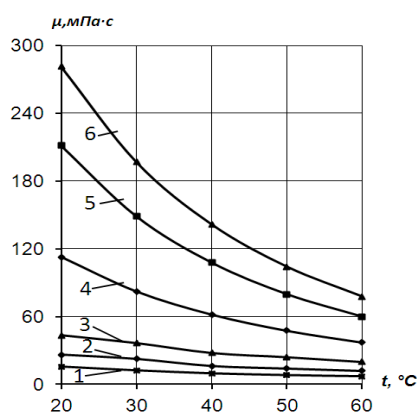


Рис. 2. Зависимость динамической вязкости квасного суслу от температуры: 1 –  $C_{св} = 10\%$  масс.; 2 –  $C_{св} = 20\%$  масс.; 3 –  $C_{св} = 30\%$  масс.; 4 –  $C_{св} = 40\%$  масс.; 5 –  $C_{св} = 50\%$  масс.; 6 –  $C_{св} = 60\%$  масс.

Результаты экспериментов показали, что коэффициент поверхностного натяжения квасного суслу уменьшается с ростом концентрации сухих веществ и повышением температуры (рис. 3). Это объясняется тем, что с увеличением температуры интенсивность межмолекулярного взаимодействия уменьшается, поэтому снижается и поверхностное натяжение жидкостей на границе с воздухом или с собственным паром. Органические вещества квасного суслу понижают поверхностное натяжение по мере увеличения концентрации благодаря преимущественной адсорбции органических молекул на поверхности вода – воздух.

В результате обработки опытных данных в среде статистического пакета EXCEL получены статисти-

ческие модели, описывающие физико-химические свойства концентратов квасного суслу.

Для плотности квасного суслу уравнение множественной регрессии имеет вид:

$$\rho_c = 973,54 - 0,59 \times t + 6,4 \times C_{св}, \quad R = 9 \quad (1)$$

где  $R$  – величина коэффициента множественной регрессии, которая показывает, что модель объясняет соответственно 96,2 % изменения плотности.

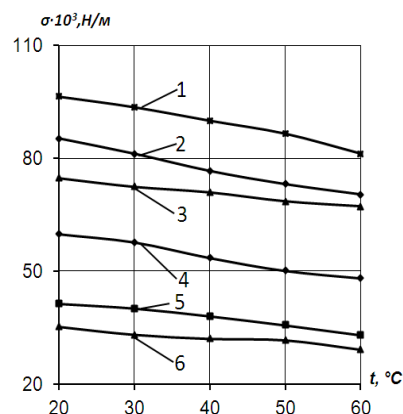


Рис. 3. Зависимость поверхностного натяжения квасного суслу от температуры: 1 –  $C_{св} = 10\%$  масс.; 2 –  $C_{св} = 20\%$  масс.; 3 –  $C_{св} = 30\%$  масс.; 4 –  $C_{св} = 40\%$  масс.; 5 –  $C_{св} = 50\%$  масс.; 6 –  $C_{св} = 60\%$  масс.

Для динамической вязкости:

$$\mu_c = \exp(1,8 - 0,92 \times t + 1,54 \times C_{св}), \quad R = 97 \quad (2)$$

Для поверхностного натяжения:

$$\sigma_c = 113,17 - 0,26 \times t - 1,2 \times C_{св}, \quad R = 98,9 \quad (3)$$

Как показали исследования, при изменении температуры и концентрации сухих веществ физико-химические свойства квасного суслу меняются, что не может не сказаться при проведении теплообменных процессов при концентрировании в РРИ.

Данные о физико-химических свойствах квасного суслу необходимы при расчете теплообмена в РРИ, при расчете режимных и конструктивных параметров технологического оборудования.

#### Список литературы

1. [http://hmelservis.ru/koncentrat\\_kvasnogo\\_susla](http://hmelservis.ru/koncentrat_kvasnogo_susla)
2. <http://ru-patent.info/21/70-74/2172775.html>
3. Сорокопуд, А.Ф. Концентрирование плодово-ягодных экстрактов в роторном распылительном испарителе / А.Ф. Сорокопуд, Н.Г. Третьякова, П.П. Иванов // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2004. – № 7. – С. 38–40.
4. Гинзбург, А.С. Теплофизические характеристики пищевых продуктов: справочник / А.С. Гинзбург, М.А. Громов, Т.И. Красовская. – М.: Агропромиздат, 1990. – 287 с.
5. ГОСТ 28562-90. Продукты переработки плодов и овощей. Рефрактометрический метод определения растворимых сухих веществ. – Введ. 1991-01-07. – М.: Стандартинформ, 2010. – 12 с.

6. ГОСТ 29030-91. Продукты переработки плодов и овощей. Пикнометрический метод определения относительной плотности и содержания растворимых сухих веществ. – Введ. 1992-01-07. – М.: Стандартиформ, 2010. – 8 с.

7. Сорокопуд, А.Ф. Физико-химические свойства экстрактов плодов боярышника кроваво-красного и калины обыкновенной / А.Ф. Сорокопуд, Н.В. Дубинина // Пиво и напитки. – 2008. – № 3. – С. 30–32.

8. Третьякова, Н.Г. Совершенствование технологии производства пищевых продуктов с использованием роторного распылительного испарителя: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.04, 05.18.12: защищена 19.04.2002 / Третьякова Надежда Геннадьевна. – Кемерово, 2002. – 172 с.

ФГБОУ ВПО «Кемеровский технологический институт  
пищевой промышленности»,  
650056, Россия, г. Кемерово, б-р Строителей, 47.  
Тел./факс: (3842) 73-40-40  
e-mail: office@kemtipp.ru

## SUMMARY

**A.F. Sorokopud, N.A. Shemeneva, N.G. Tretjakova**

### **PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF KVASS WORT CONCENTRATE**

The influence of temperature and the content of solids on physico-chemical properties (density, viscosity, surface tension) of kvass wort concentrate has been investigated. The analysis of results of experimental researches of physico-chemical properties of a kvass wort concentrate defined by the widely spread experimental methods is presented. The plural regress equations characterizing the change of density, dynamic viscosity and surface tension depending on a wide range of temperatures and the content of solids in a kvass wort concentrate have been obtained.

Kvass wort concentrate, density, viscosity, surface tension.

Kemerovo Institute of Food Science and Technology  
47, Boulevard Stroiteley, Kemerovo, 650056, Russia  
Phone/Fax: +7(3842) 73-40-40  
e-mail: office@kemtipp.ru