

ПИЩЕВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

УДК 664.346

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАЙОНЕЗОВ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

З.В. Василенко, Н.Н. Курилович, П.А. Ромашихин, Т.Н. Болашенко

Исследованы структурно-механические характеристики майонезов функционального назначения серии «Здоровье». Изучено влияние температуры на структурно-вязкостные свойства майонезов. Установлено, что полученные системы обладают тиксотропными свойствами.

Введение

Исследование структурно-механических свойств майонезов имеет важное значение для характеристики их структуры, управления процессом производства, получения готового продукта высокого качества, а также прогнозирования изменения показателей качества в процессе транспортировки, реализации, хранения и в процессе дальнейшего кулинарного использования майонеза в составе закусок и блюд. Наличие структуры придает майонезам, которые являются дисперсной системой, своеобразные механические свойства, такие как вязкость, пластичность, прочность, упругость.

Результаты исследований и их обсуждение

Объектами исследований являлись майонезы функционального назначения серии «Здоровье», рецептуры и технология которых отличны от традиционного майонеза «Провансаль», являющегося контрольным образцом. Разработанные майонезы не содержат холестерин, характеризуются улучшенным жирно-кислотным составом и высокими вкусовыми показателями.

Структурно-механические характеристики разработанных майонезов определяли на ротационном вискозиметре «Реотест 2» при температуре 20⁰С и на основании экспериментальных данных строили реологические кривые. Учитывая, что структура майонеза достигает наиболее стабильного состояния через 15–20 ч, кривые вязкого течения снимали на второй день после его изготовления. Измерения проводили после 30-минутного термостатирования исследуемых образцов при температуре 20⁰С.

Экспериментальные кривые зависимости динамической вязкости от скорости сдвига и содержания жира в майонезах представлены на рисунке 1.

Как видно из кривых течения, представленных на рисунке 1, все образцы разработанных майонезов характеризуются динамической вязкостью, которая практически мало отличается от таковой традиционного майонеза «Провансаль», что было достигнуто варьированием концентраций рецептурных ингредиентов. При этом динамическая вязкость разработанного майонеза с содержанием жировой фазы 65% при скорости сдвига 3 с⁻¹ составляла 22,5 Па·с, тогда как динамическая вязкость контрольного образца составляла 18,3 Па·с. Помимо этого, следует отметить, что для всех исследуемых образцов майонезов характерно плавное падение динамической вязкости при увеличении скорости сдвига, вплоть до полного разрушения структуры майонеза, когда изменения динамической вязкости практически не наблюдалось.

Так, кривая течения контрольного образца при скорости сдвига 90c^{-1} переходит в прямую линию, что свидетельствует о практически полном разрушении структуры майонеза, тогда как динамическая вязкость разработанных майонезов достигает наименьшего значения при скорости сдвига 150c^{-1} , что свидетельствует о более прочной структуре разработанных майонезов.

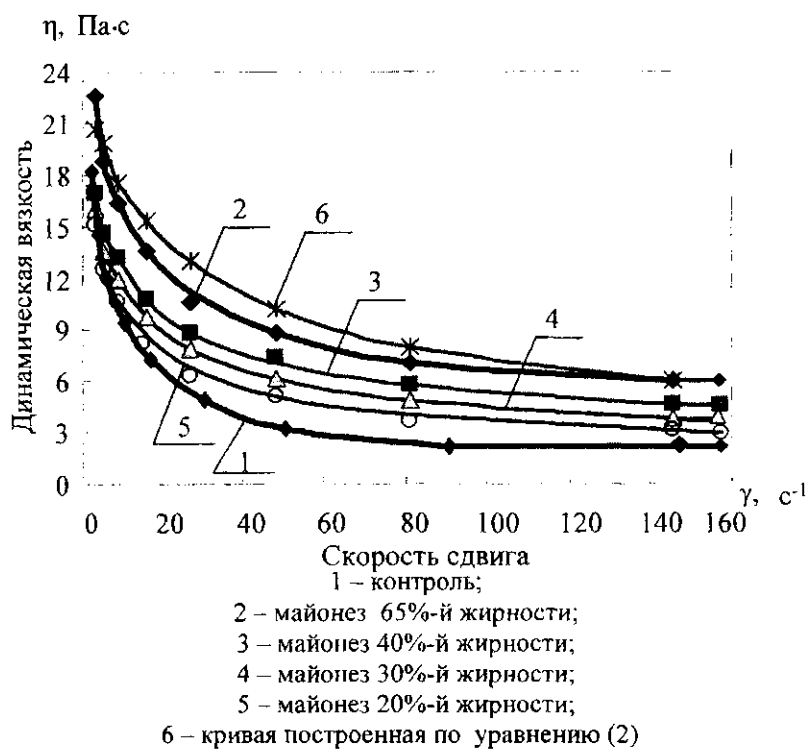


Рисунок 1 – Зависимость динамической вязкости майонезов от скорости сдвига и содержания жировой фазы

характеризуются практически неизменяющейся вязкостью, что свидетельствует о полном разрушении структуры майонезной эмульсии. Такое реологическое поведение майонезов, по видимому, обусловлено соотношением разрушенных и восстановленных связей структуры, зависящим от величины напряжения сдвига.

Следует отметить схожий характер кривых зависимости динамической вязкости майонезов от скорости сдвига для всех исследуемых образцов майонезов, независимо от содержания жировой фазы, которая изменяется от 20 до 65%. Установленные структурно-механические показатели майонезов коррелируют с их органолептическими показателями: майонезы с более высоким содержанием жировой фазы характеризуются более густой кремообразной консистенцией, хорошо сохраняют форму.

Анализ значений динамической вязкости η от содержания жира в исследуемых образцах майонезов свидетельствует, что наибольшей динамической вязкостью обладает эмульсия с 65%-м содержанием жира, а наименьшей – с содержанием жира 20%. Так, при скоростях сдвига, равных 100c^{-1} , динамическая вязкость для майонеза с содержанием жировой фазы 65% равна $7,0\text{ Па}\cdot\text{с}$, при содержании жировой фазы 20% – $5,0\text{ Па}\cdot\text{с}$. Подобие кривых на втором и третьем участках динамической вязкости [1] при различном содержании жира позволяет описать их поведение математической зависимостью:

$$\frac{\eta(\tau_1, \gamma_1)}{\eta(\tau_1, \gamma_2)} = \frac{\eta(\tau_2, \gamma_1)}{\eta(\tau_2, \gamma_2)}, \quad (1)$$

где η – вязкость майонезов с различным содержанием жировой фазы в зависимости от скорости сдвига и напряжения сдвига, $\text{Па}\cdot\text{с}^{-1}$;

На кривых, приведенных на рисунке 1, можно выделить три участка [1]. Первый участок наблюдается при небольших скоростях сдвига (от 3 до 15c^{-1}), на котором наблюдается резкое уменьшение вязкости майонезов, что характерно для неразрушенной структуры майонезов, когда система частично восстанавливает свою структуру. Второй участок кривых течения при скоростях сдвига от 15c^{-1} до 120c^{-1} характеризуется нелинейной зависимостью динамической вязкости от скорости сдвига.

При увеличении скорости сдвига наблюдается постепенное уменьшение вязкости, свидетельствующее о разрушении пространственной структуры майонезов. Третий участок имеет место при скоростях сдвига больше 120c^{-1} . Кривые на этом участке имеют характер близкий к линейному,

τ_1, τ_2 – напряжения сдвига при различном содержании жира в образцах майонезов, Па;
 γ_1, γ_2 – скорости сдвига, с^{-1} .

Если динамическую вязкость майонеза, содержащего 20% жира, принять за базовую величину, тогда динамическая вязкость майонезов с иным содержанием жировой фазы в рецептуре может быть определена по уравнению

$$\eta = \eta_0 f \left(\frac{K}{K_0} \right)^m, \quad (2)$$

где η_0 – динамическая вязкость майонеза с содержанием жира 20%, принятая за базовое (фиксированное) значение;

K – текущее содержание жира для любых кривых;

K_0 – содержание жира для кривой, принятой за базовое (фиксированное);

m – показатель степени.

Функция $f \left(\frac{K}{K_0} \right)^m$ учитывает влияние жира на величину динамической вязкости и может

быть определена с использованием экспериментальных данных динамической вязкости, представленных на рисунке 1. Для чего при скорости сдвига γ , равной 100 с^{-1} , необходимо построить зависимость динамической вязкости от содержания масла в майонезной эмульсии. Такая зависимость представлена на рисунке 2, по которой определяется показатель степени m .

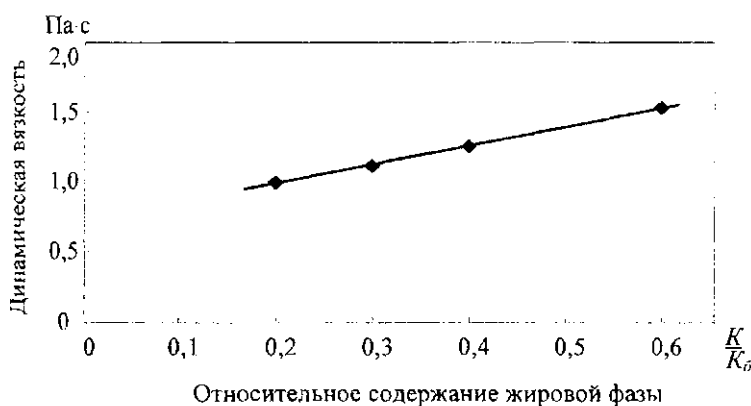


Рисунок 2 – Зависимость динамической вязкости от содержания жировой фазы в майонезах

Из рисунка 2 видно, что при увеличении содержания в майонезе жировой фазы – растительного масла, вязкость увеличивается. На основании этих данных и уравнения (2) была рассчитана динамическая вязкость майонеза 65%-й жирности и построена зависимость вязкости майонезов от скорости сдвига, которая представлена на рисунке 1 (кривая 6). Анализ кривых, представленных на рисунке 1, показывает, что рассчитанная по уравнению (2) зависимость динамической вязкости от

скорости сдвига для майонеза с содержанием жировой фазы 65% по характеру течения идентична экспериментальным кривым.

Таким образом, уравнение (2) может быть использовано для расчета вязкости майонеза с любым содержанием жировой фазы, что имеет большое научно-практическое значение при разработке рецептур новых видов майонезов.

Для более полной характеристики образовавшихся структур разработанных майонезов проводили исследования их структурной вязкости путем построения полной реологической кривой, представляющей собой зависимость эффективной вязкости η от напряжения сдвига τ [2], которые представлены на рисунке 3.

Анализ кривых течения, представленных на рисунке 3, показывает, что при небольших значениях напряжений сдвига наблюдается зона условно-упругих деформаций, когда остаточные деформации практически не развиваются. На этом участке кривых имеет место наибольшее значение вязкости η_0 , что соответствует практически неразрушенной структуре майонезной эмульсии.

На втором участке, начиная с предела текучести Q_f , появляется вязкопластическая де-

формация. С увеличением напряжения сдвига τ она увеличивается, а эффективная вязкость уменьшается до предельного значения η_{\min} . При этом практически полностью происходит разрушение структуры и достигается напряжение сдвига предельно разрушенной структуры Q_{\max} , выше которого майонезы текут с наибольшей скоростью. По таким кривым получили следующие реологические характеристики исследуемых образцов майонезов, которые представлены в таблице 1.

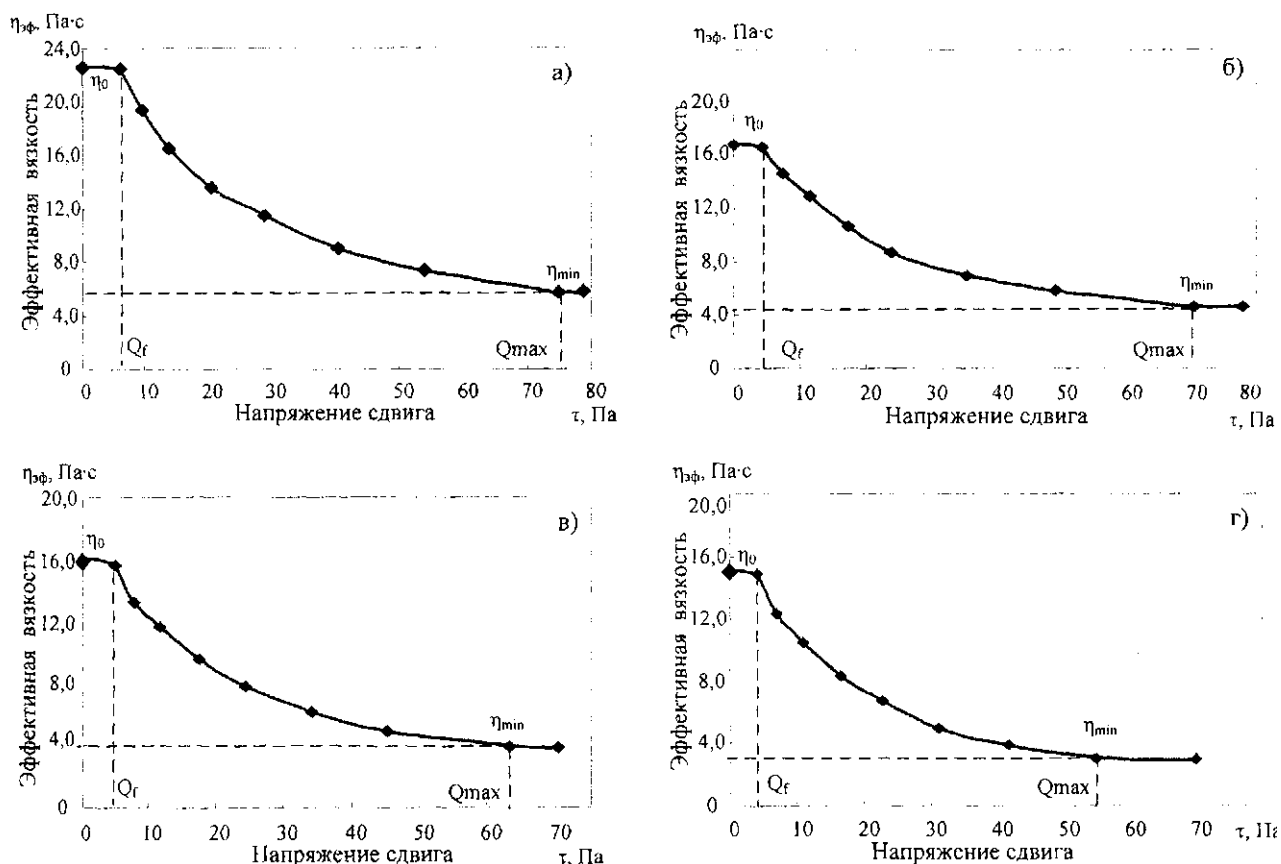


Рисунок 3 – Кривая течения зависимости эффективной вязкости от напряжения сдвига и содержания жировой фазы в майонезах (а – 65%, б – 40%, в – 30%, г – 20% жирности)

Таблица 1 – Реологические характеристики майонезов в зависимости от содержания жировой фазы

Содержание жировой фазы, %	Предел текучести, Па		Эффективная вязкость структуры, Па·с	
	минимальный	максимальный	неразрушенной	разрушенной
	Q_r	Q_{\max}	η_0	η_{\min}
контроль	$4,5 \pm 0,12$	$36,5 \pm 1,02$	$18,15 \pm 0,42$	$2,32 \pm 0,09$
65	$6,7 \pm 0,23$	$76,1 \pm 1,14$	$22,56 \pm 0,56$	$6,45 \pm 0,12$
40	$5,1 \pm 0,16$	$67,7 \pm 1,21$	$16,92 \pm 0,39$	$4,64 \pm 0,09$
30	$4,8 \pm 0,09$	$56,4 \pm 1,11$	$15,98 \pm 0,21$	$3,87 \pm 0,06$
20	$4,5 \pm 0,12$	$45,7 \pm 1,06$	$15,10 \pm 0,16$	$3,13 \pm 0,10$

Из таблицы 1 видно, что с увеличением количества жировой фазы в исследуемых образцах майонезов повышаются их физические характеристики.

Следует отметить, что технологический процесс производства майонеза сопровождается как созданием структуры непосредственно в процессе производства, так и ее разрушением при перекачивании по трубопроводам производственных линий и дозирующих устройств фасовочно-упаковочных установок, транспортировке и дальнейшем кулинарном использовании. Поэтому изучение тиксотропии при разработке новых технологий и рецептур майонезов имеет как научный, так и большой практический интерес.

На рисунке 4 представлены реологические кривые течения майонезов, полученные при прямом и обратном ходе вискозиметра при температуре $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$.

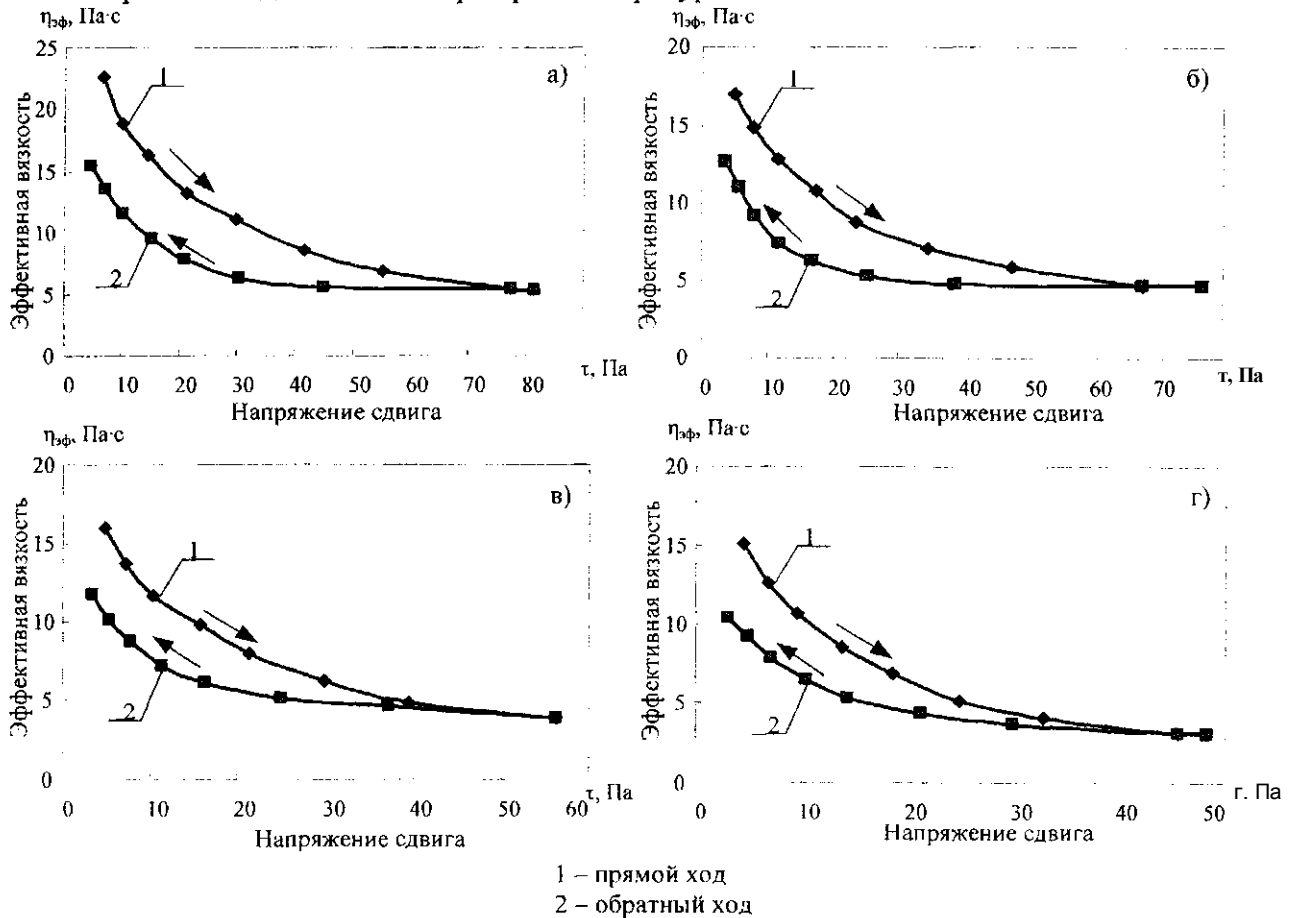


Рисунок 4 – Кривые прямого и обратного последствия для исследуемых майонезов (а – 65%, б – 40%, в – 30%, г – 20% жирности)

Из рисунка 4 видно, что при равной величине напряжения сдвига в ходе его возрастания (прямой ход) и снижения (обратный ход) были получены две несовпадающие кривые, свидетельствующие, что майонезы обладают тиксотропными свойствами и относятся к обратимо восстанавливающимся структурам. Процесс восстановления разрушенной структуры майонезов начинается сразу же после их механического разрушения и постепенного снижения напряжения сдвига.

Как видно из данных, кривые течения прямого и обратного хода образуют петлю гистерезиса, которая показывает, что разрушенная структура исследуемых образцов майонезов за время эксперимента не успевает восстановиться до первоначальной величины. Заслуживает внимания тот факт, что структура майонезов не разрушается полностью даже при значительном напряжении сдвига, вплоть до 80 Па. Полученные результаты показывают, что деформационное поведение исследуемых майонезов позволяет отнести их к упруго-пластично-вязким системам.

Очевиден факт, что полной тиксотропии в майонезе независимо от количества жировой фазы быть не может, что вытекает из самого процесса деформирования [3, 4]. Развивающиеся в материале вязкопластические деформации под действием внешних усилий являются причиной разогрева, причем при прямом ходе деформирования (кривая 1) количество выделяющейся теплоты будет значительно больше, чем при обратном ходе (кривая 2). Можно предположить, что полная тиксотропия будет иметь место при быстром нагружении, когда величина выделившегося тепла будет ничтожна.

Учитывая, что майонез в кулинарной практике используется в качестве приправы как к холодным, так и к горячим блюдам, и с учетом того, что майонезная эмульсия сравнительно

чувствительна к изменению температуры [5, 6], определяли влияние температуры на структурно-вязкостные свойства разработанных майонезов. Исследования проводили в интервале температур от 4 до 80⁰С, который был определен с учетом следующих технологических факторов:

1. 4±2⁰С – температура хранения майонеза, согласно действующих ТНПА;
2. 14±2⁰С – температура подачи холодных закусок и блюд, в состав которых входит майонез;
3. 20±2⁰С – температура хранения при комнатной температуре;
4. 80±2⁰С – температура хранения вторых горячих блюд на мармите.

Результаты исследований по определению влияние температуры на структурно-вязкостные свойства разработанных майонезов представлены на рисунке 5.

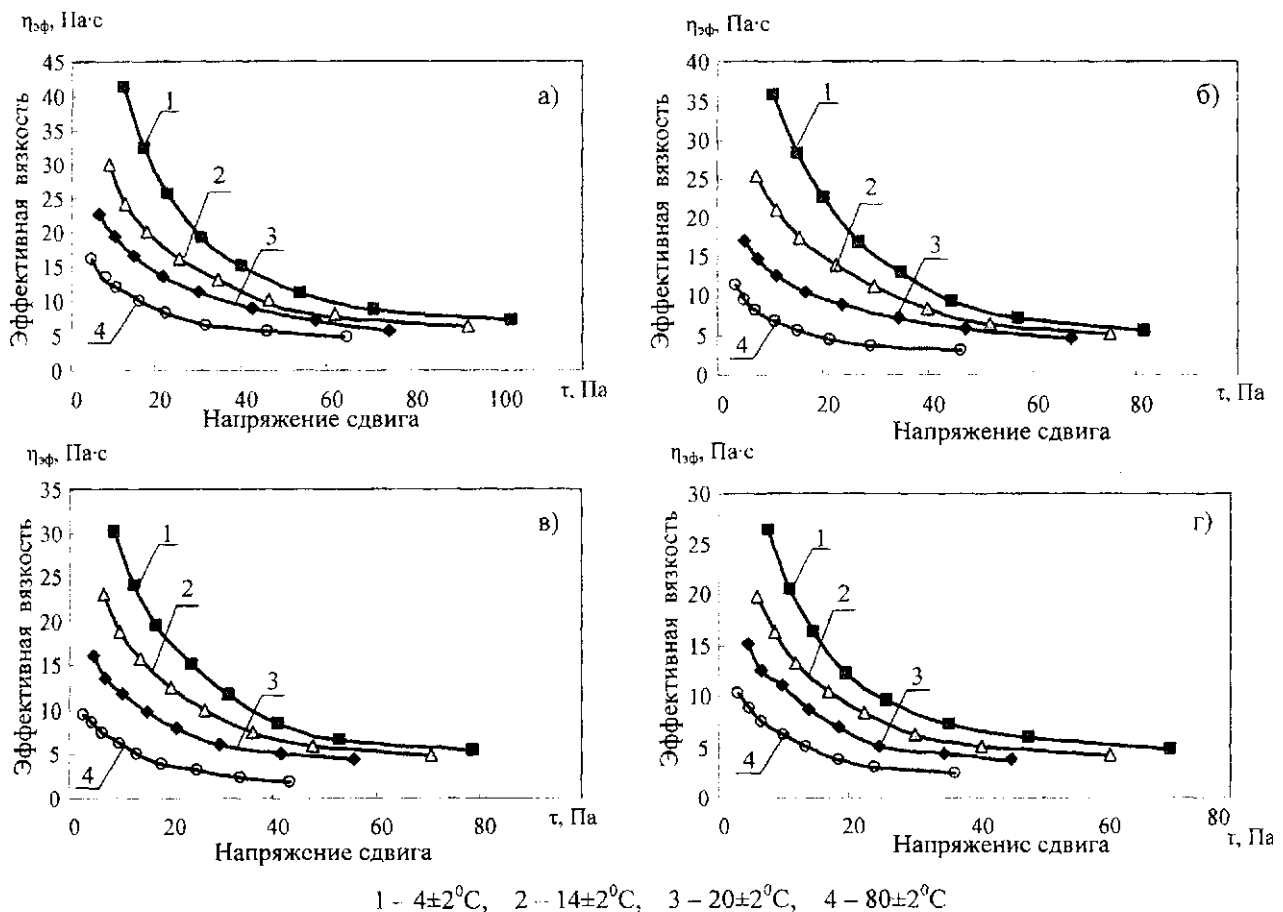


Рисунок 5 – Зависимость эффективной вязкости майонезов от напряжения сдвига и температуры (а – 65%, б – 40%, в – 30%, г – 20% жирности)

Из рисунка 5 видно, что с повышением температуры эффективная вязкость неразрушенной структуры майонезов падает. При этом предельное напряжение сдвига, при котором кривая переходит в прямую линию, когда структура полностью разрушается, уменьшается. Так, для майонеза с содержанием 65% растительного масла в рецептуре эффективная вязкость неразрушенной структуры при температуре 4±2⁰С составляла 43 Па·с, при повышении температуры до 14±2⁰С эффективная вязкость снижалась до 34–33 Па·с. Дальнейшее повышение температуры майонеза способствовало снижению вязкости структуры в 1,9 и 2,7 раза при температуре 20⁰С и 80⁰С соответственно, что свидетельствует о частичном разрушении структуры майонеза при нагревании. Аналогичные зависимости эффективной вязкости от напряжения сдвига при изменении температуры были получены для всех образцов исследуемых майонезов, независимо от содержания в них жировой фазы.

Таким образом, исследование влияния температуры на структурно-вязкостные свойства разработанных майонезов показало, что их вязкость и напряжение сдвига зависят от темпе-

ратуры. Характер кривых зависимости эффективной вязкости эмульсий от напряжения сдвига позволяет отнести их к коагуляционным структурам, деформационное поведение которых обусловлено остаточными прослойками жидкой дисперсионной среды между частицами в местах сцепления.

Заключение

Представлены результаты исследований структурно-механических характеристик новых видов майонезов функционального назначения. Показано, что наиболее прочностными свойствами обладает майонез с более высоким содержанием жировой фазы, что коррелирует с показателями, определяемыми органолептически.

Предложено уравнение для расчета значения вязкости майонеза при любом содержании растительного масла в рецептуре. Установлено, что с повышением температуры происходит частичное разрушение структуры майонезов, вследствие чего облегчаются деформационные процессы в системах. Показано, что исследуемые образцы майонезов обладают тиксотропными свойствами и относятся к обратимо восстанавливающимся структурам.

Литература

1. Мачихин, Ю.А. Инженерная реология пищевых материалов / Ю.А. Мачихин, С.А. Мачихин. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. – 216 с.
2. Шмидт, А.А. Производство майонеза / А.А. Шмидт, З.А. Зудина. – М.: Пищевая промышленность, 1976. – 180 с.
3. Горбатов, А.В. Структурно-механические характеристики пищевых продуктов / А.В. Горбатов, А.М. Маслов, Ю.А. Мачихин. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. – 296 с.
4. Сосновский, Л.А. К построению механотермодинамики / Л.А. Сосновский, С.С. Щербаков. Теоретическая и прикладная механика. Межведомственный сборник научно-методических статей. Выпуск 24 – БНТУ, 2009. – 322 с.
5. МакКенна, Б.М. Структура и текстура пищевых продуктов. Продукты эмульсионной природы / Б.М. МакКенна (ред.); пер. с англ. под науч. ред. канд. техн. наук, доц. Ю.Г. Базарновой. – СПб.: Профессия, 2008. – 480 с.
6. Урьев, Н.Б. Физико-химическая механика и интенсификация образования пищевых масс / Н.Б. Урьев, М.А. Талейсник. – М.: Пищевая промышленность, 1976. – 236с.

Поступила в редакцию 4.05.2009