

УДК 637.143

Исследование изменения физических свойств водно-зерновых суспензий, приготовленных на основе ржаного зерна в процессе водно-тепловой их обработки**А.В. Степаненко**, aise7@rambler.ruКанд. техн. наук **Ю.Н. Гуляева**, gulyaeva.yul@yandex.ruД-р техн. наук **А.Г. Новоселов**, dekrsh@mail.ru

Университет ИТМО

191002, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

В данной статье представлены результаты исследований по изучению изменения физических свойств водно-зерновых суспензий, приготовленных на основе ржаного зерна в процессе их водно-тепловой обработки. Приведены графические зависимости плотности и динамической вязкости от температуры и скорости сдвига для гидромодулей 1:2.5, 1:3, 1:3.5, 1:4. Выполнена математическая обработка полученных графиков. Представлены уравнения для расчета плотности и динамической вязкости водно-зерновых суспензий для исследованных гидромодулей. Показано, что контролировать процесс ее водно-тепловой обработки можно при помощи значений коэффициентов динамической вязкости в четырех характерных (реперных) точках. Значение коэффициента динамической вязкости μ_1 в первой реперной точке соответствует температуре T_1 , при которой начинается водно-тепловая обработка суспензии. Значение коэффициента динамической вязкости $\mu_2 = \mu_{\min}$ во второй реперной точке соответствует переходу от области снижения значений вязкости (первая характерная область вязкостно-температурной кривой) к их увеличению. Значение коэффициента динамической вязкости μ_3 в третьей реперной точке соответствует максимальной величине $\mu_3 = \mu_{\max}$. Значение коэффициента динамической вязкости μ_4 в четвертой реперной точке соответствует постоянной конечной величине $\mu_4 = \text{const}$, после которой величина коэффициента динамической вязкости остается практически неизменной.

Ключевые слова: водно-зерновая суспензия, ржаное зерно, водно-тепловая обработка, коэффициент динамической вязкости, температурная зависимость

Study of the change of the physical properties of water-grain suspensions prepared on the basis of rye grain in the process of water-heat processing**A.V. Stepanenko**, aise7@rambler.ruPh. D. **Yu.N. Gulyaeva**, gulyaeva.yul@yandex.ruD. Sc. **A.G. Novoselov**, dekrsh@mail.ru

ITMO University

191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9

This article presents the results of studies on the changes of physical properties of water-grain suspensions, prepared on the basis of rye grain in the process of water-heat treatment. Shows a graphical dependence of the density and dynamic viscosity on temperature and shear rate for water ratios 1:2.5, 1:3, 1:3.5, 1:4. Mathematical processing of the obtained graphs. The equations for calculating the density and dynamic viscosity of water-grain suspensions for the studied water ratios. It is shown that to control the process

of water-heat treatment using the values of the coefficients of dynamic viscosity in four characteristic (reference) points. The value of the coefficient dynamic viscosity in the first datum point μ_1 corresponds to the temperature T_1 at which water begins thermal treatment of the suspension. The value of the coefficient of dynamic viscosity in the first datum point corresponds to the temperature at which water begins thermal treatment of the suspension. The value of the coefficient of dynamic viscosity, the second reference point $\mu_2 = \mu_{\min}$ corresponds to the transition from the field of reducing viscosity values (the first characteristic region viscosity-temperature curve) to their increase. The value of the coefficient of dynamic viscosity μ_3 in the third datum point corresponds to the maximum value $\mu_3 = \mu_{\max}$. The value of the coefficient of dynamic viscosity in the fourth reference point μ_4 corresponds to a constant finite value $\mu_4 = \text{const}$, after which the value of the coefficient of dynamic viscosity remains practically unchanged.

Keywords: water-grain suspension, rye grain, water -heat treatment, the coefficient of dynamic viscosity temperature dependence

Введение

Данная работа является продолжением комплексных исследований по изучению изменения физических свойств водно-зерновых суспензий в процессе их водно-тепловой обработки, проводимых на кафедре «Процессы и аппараты пищевых производств» [1÷9].

Исследованию физических свойств водно-зерновых суспензий уделяется большое внимание, так как в процессе их водно-тепловой обработки эти свойства претерпевают достаточно сильные изменения, что в конечном итоге определяет энергозатраты на проведение этой технологической стадии производства пищевого этанола [10÷15].

Ранее нами были выполнены исследования по изучению водно-зерновых суспензий приготовленных на основе ячменя [1÷3]. Было установлено, что суспензии, приготовленные на основе измельченного ячменя, при движении, обладают свойствами неньютоновских жидкостей и относятся к группе псевдопластичных жидкостей. Установлено, что для всех исследованных гидромодулей и в пределах исследованных температур наблюдалось снижение значений коэффициентов динамической вязкости μ с увеличением скорости сдвига $\dot{\gamma}$. Учитывая сложное поведение изменения зависимости μ от температуры T , что связано с трансформацией структуры крахмала зерновых частиц суспензии, было предложено контролировать процесс ее водно-тепловой обработки при помощи значений коэффициентов динамической вязкости в четырех характерных (реперных) точках, рисунок 1.

Значение коэффициента динамической вязкости μ_1 в первой реперной точке соответствует температуре T_1 , при которой начинается водно-тепловая обработка суспензии. Значение коэффициента динамической вязкости $\mu_2 = \mu_{\min}$, во второй реперной точке, соответствует переходу от области снижения значений вязкости (первая характерная область вязкостно-температурной кривой) к их увеличению. По сути, с этого значения температуры, T_2 , начинается активная клейстеризация крахмала содержащегося в зерне.

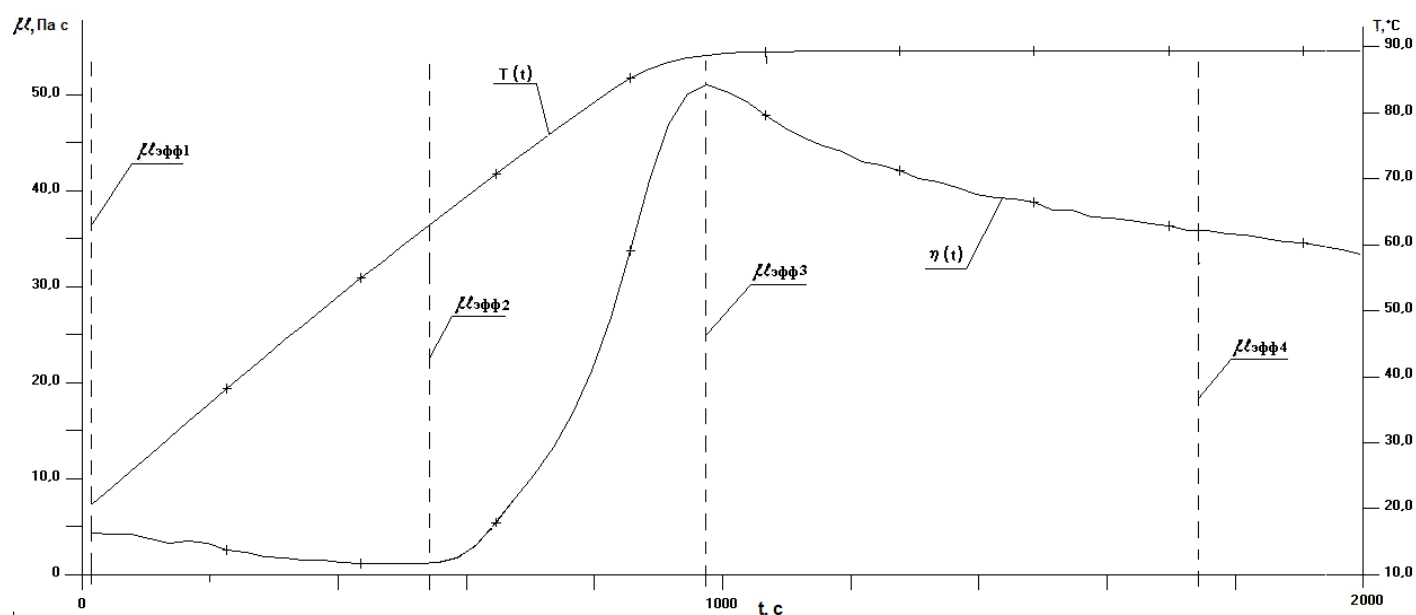


Рисунок 1 – Типовой график реперных значений коэффициентов эффективной вязкости и зон кривой течения водно-зерновой суспензии, позволяющие контролировать процесс ВТО, согласно работе [1]

Важность этой реперной точки, точки 2, заключается в том, что она позволяет определить температуру начала клейстеризации крахмала. Как показали наши исследования, коэффициенты динамической вязкости в этой точке имеют самые минимальные значения μ_{\min} для данного гидромодуля и данной скорости сдвига. Значение коэффициента динамической вязкости μ_3 в третьей реперной точке соответствует максимальной величине $\mu_3 = \mu_{\max}$. Третья реперная точка показывает окончание процесса клейстеризации и начало процесса разжижения крахмала. Между реперными точками 2 и 3 лежит область процесса клейстеризации (вторая характерная область вязкостно-температурной кривой). Между реперными точками 3 и 4 лежит третья область вязкостно-температурной кривой, которая характеризуется снижением значений коэффициента динамической вязкости при постоянной температуре суспензии. Значение коэффициента динамической вязкости μ_4 в четвертой реперной точке соответствует постоянной конечной величине $\mu_4 = \text{const}$.

Кроме того, отмечалось [3] влияние на величину μ_3 времени приготовления замеса.

Целью данной работы является исследование изменения физических свойств суспензии, приготовленной на основе измельченного ржаного зерна, в зависимости от температуры и скорости сдвига.

Объекты и методы исследования

Объектом исследования являлось измельченное ржаное зерно со 100% проходом через сито диаметром отверстий 1мм. Для проведения эксперимента по определению физических свойств исследуемых суспензий были приготовлены гидромодули 1:2,5; 1:3; 1:3,5; 1:4. Эти гидромодули исследовались при изменяющихся параметрах, а именно, температуре с диапазоном 20 ÷ 90°C и скоростях сдвига с диапазоном 2,04 ÷ 436,56 с⁻¹.

Исследования проводилось на тех же самых экспериментальных установках и по методикам, что и в исследованиях с ячменными суспензиями.

На основе обработки экспериментальных данных были получены графические зависимости плотности водно-зерновой суспензии от температуры для гидромодулей 1:2.5, 1:3, 1:3.5, 1:4.

Как видно из графиков, представленных на рисунке 2, плотность водно-зерновой суспензии на основе ржи определяется гидромодулем и зависит от температуры. Уменьшение значений плотности затора при увеличении температуры происходит за счет температурного расширения воды и процесса клейстеризации – набухания крахмала зерна в нагреваемом водном растворе, вследствие которого происходит увеличение объема с последующим разрывом клеточных стенок.

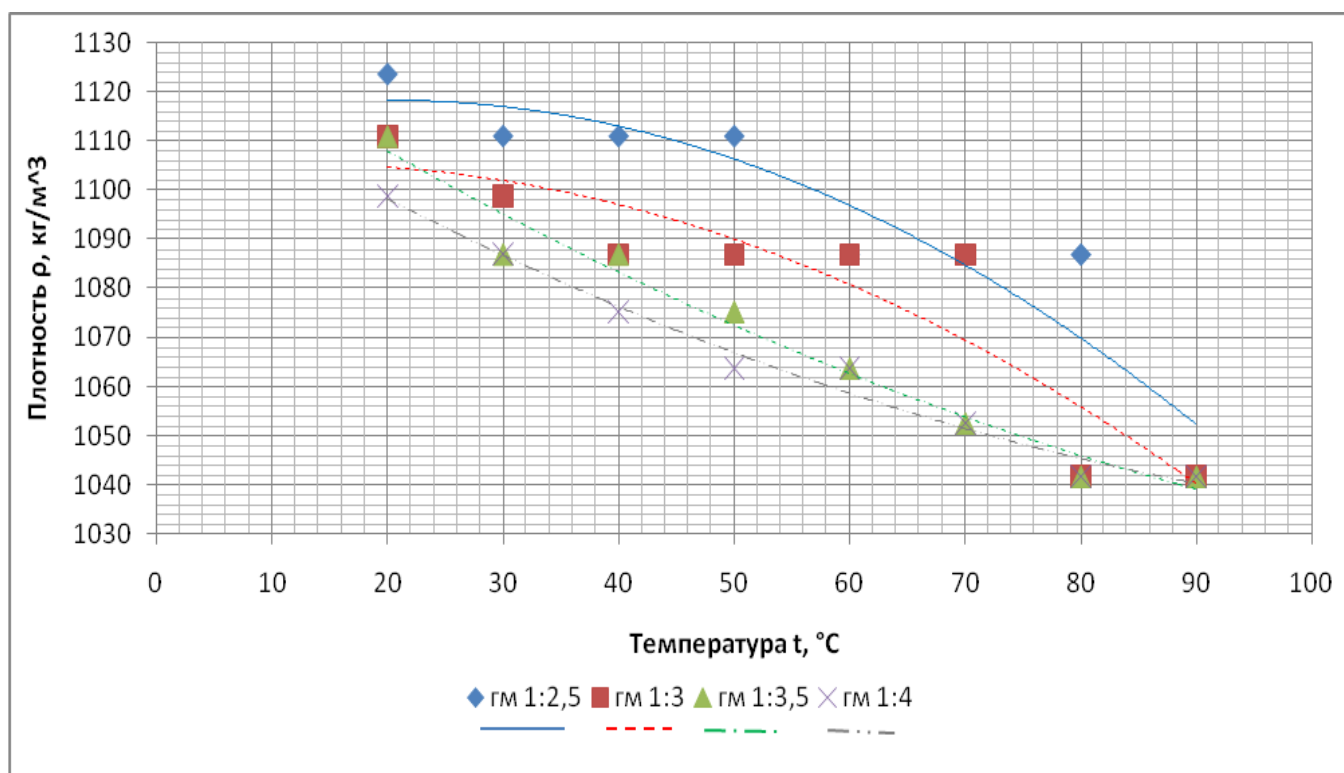


Рисунок 2 – Зависимость плотности водно-зерновой суспензии, приготовленной на основе ржаного зерна, от температуры

Математическая обработка кривых, представленных на рисунке 2, позволила получить уравнения для расчета плотности водно-зерновых суспензий, приготовленных на основе измельченного ржаного зерна, которые представлены в таблице 1.

Таблица 1

Эмпирические уравнения для расчета плотности водно-зерновых суспензий

Гидромодуль	Уравнение
1:2,5	$\rho=1112,6+0,553T-0,0136T^2$
1:3	$\rho=1103,7+0,266T-0,0108T^2$
1:3,5	$\rho=1136,5-1,529T+0,005T^2$
1:4	$\rho=1124,7-1,424T+0,0054T^2$

Следует обратить внимание на то, что каждое уравнение может быть применено только в области исследованных параметров.

Результаты исследований изменения коэффициента динамической вязкости водно-зерновых суспензий, приготовленных на основе ржи, в зависимости от скорости сдвига представлены на рисунках 3–5. На рисунке 3 представлены зависимости коэффициента динамической вязкости μ от скорости сдвига в первой области вязкостно-температурной кривой для гидромодуля 1:3. Как видно из графиков, представленных на этом рисунке, значения μ в этой области также уменьшаются с увеличением температуры, как и в случае водно-тепловой обработки измельченного ячменя [1].

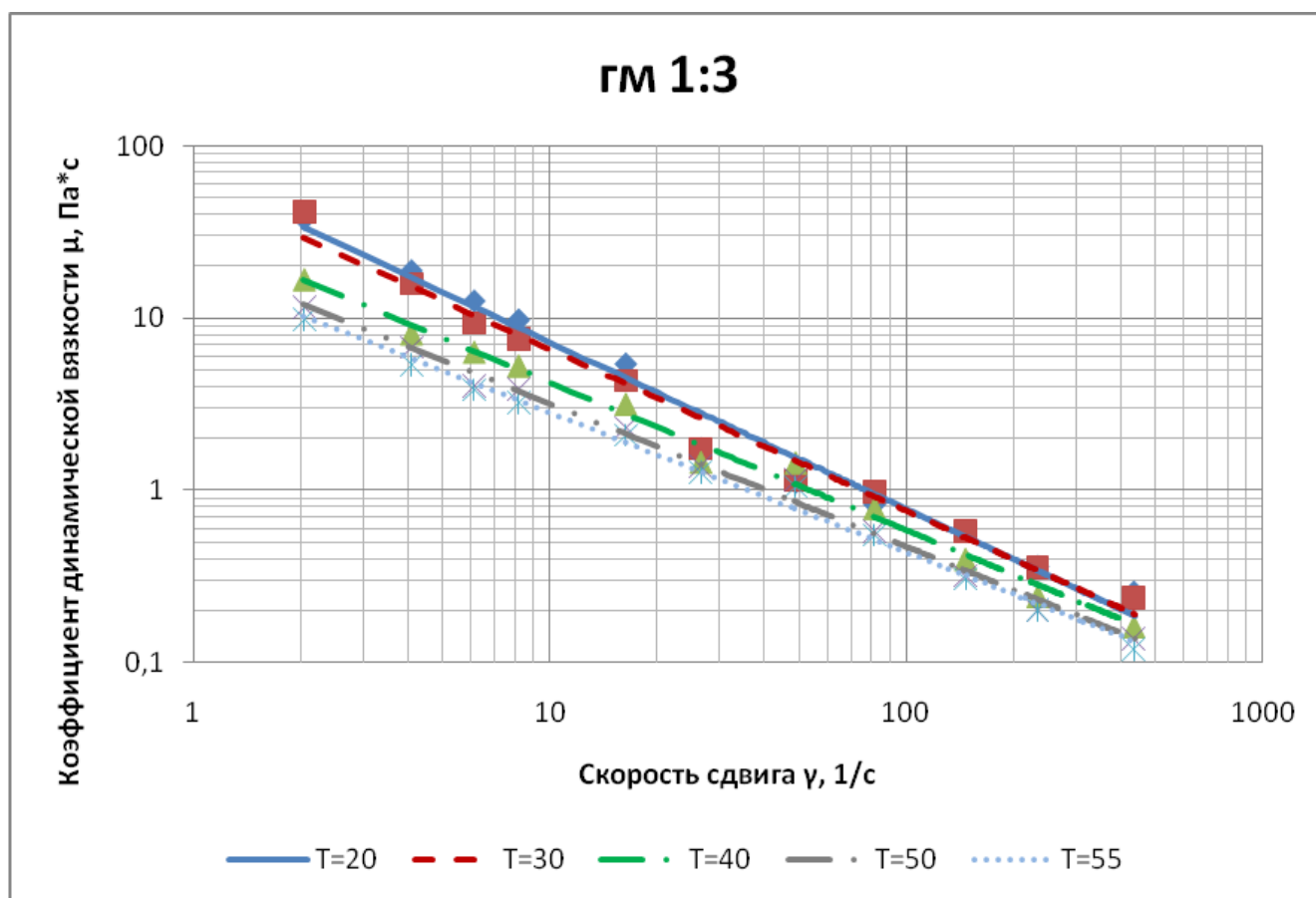


Рисунок 3 – Зависимость коэффициента динамической вязкости μ от скорости сдвига $\dot{\gamma}$ для первой области вязкостно-температурной кривой

Из графиков, приведенных на рисунках 3–5, видно, что кривые вязкости имеют общий характер течения, соответствующий псевдопластичным жидкостям, т.е. с увеличением скорости сдвига, значения коэффициентов динамической вязкости уменьшаются.

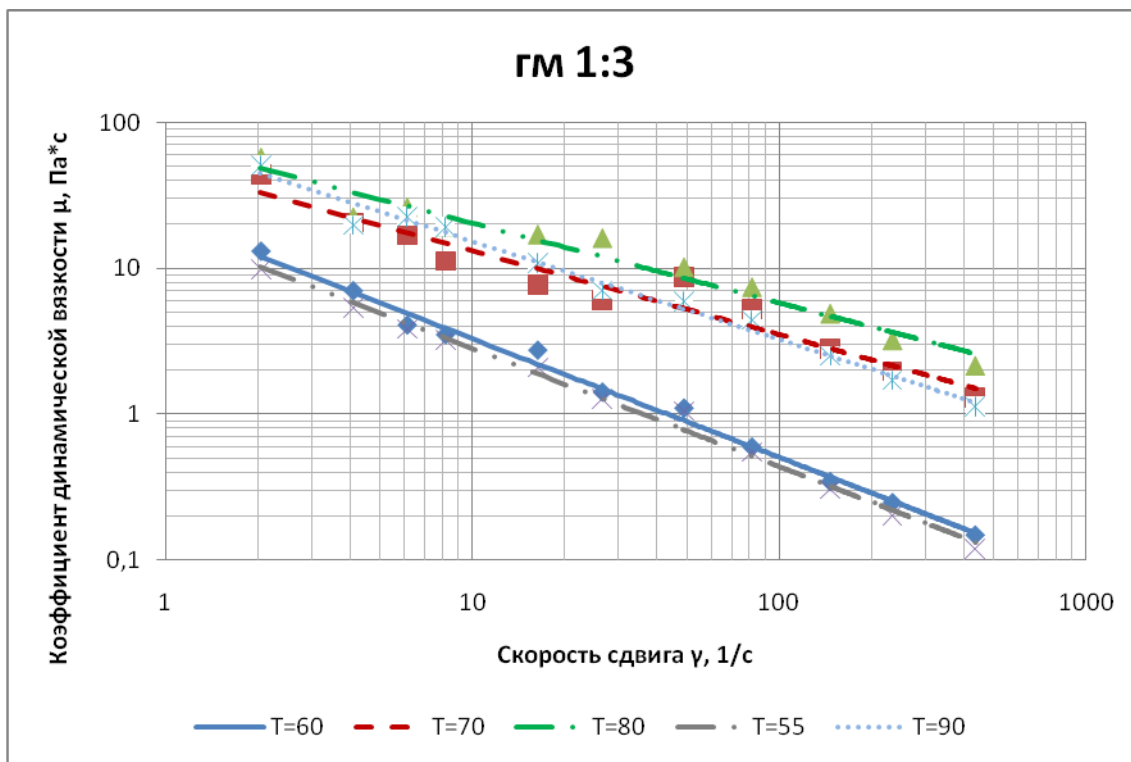


Рисунок 4 – Зависимость коэффицента динамической вязкости μ от скорости сдвига $\dot{\gamma}$ для второй области вязкостно-температурной кривой

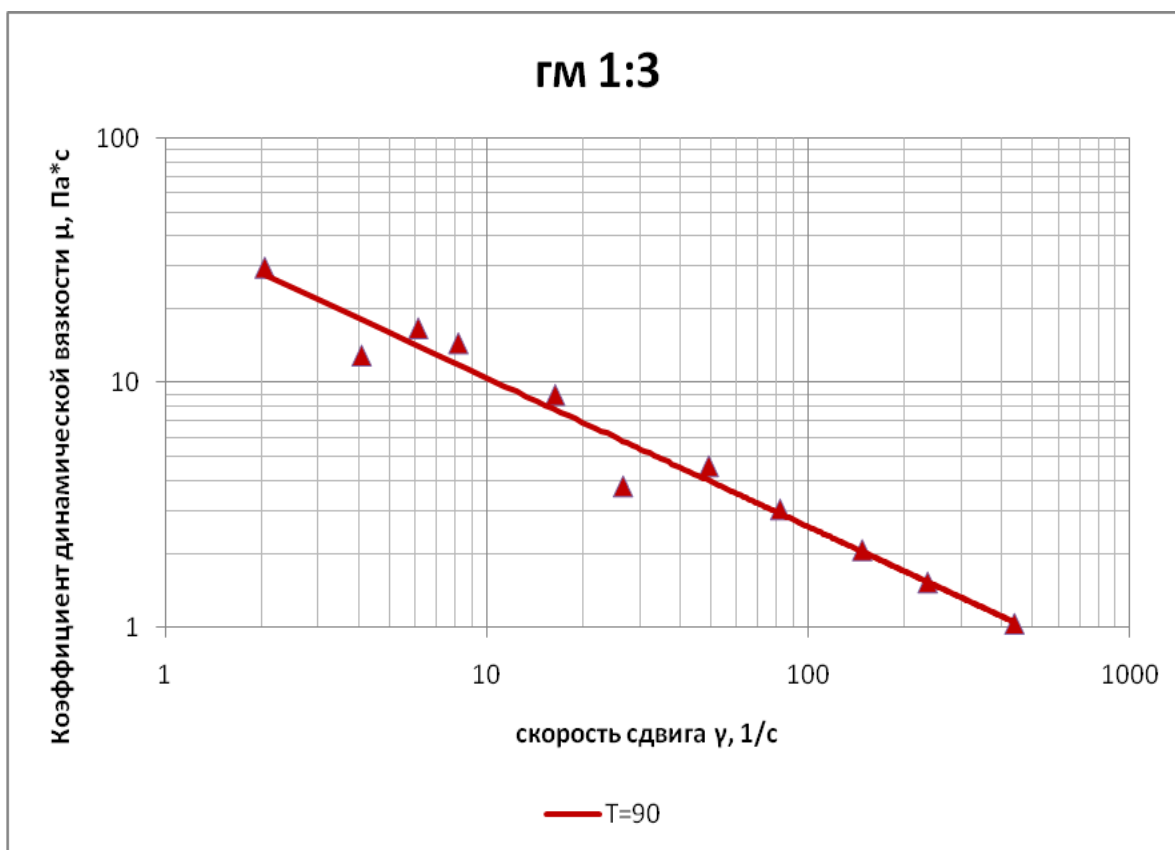


Рисунок 5 – Зависимость коэффицента динамической вязкости μ от скорости сдвига $\dot{\gamma}$ для третьей области вязкостно-температурной кривой при температуре $T = 90^{\circ}\text{C}$

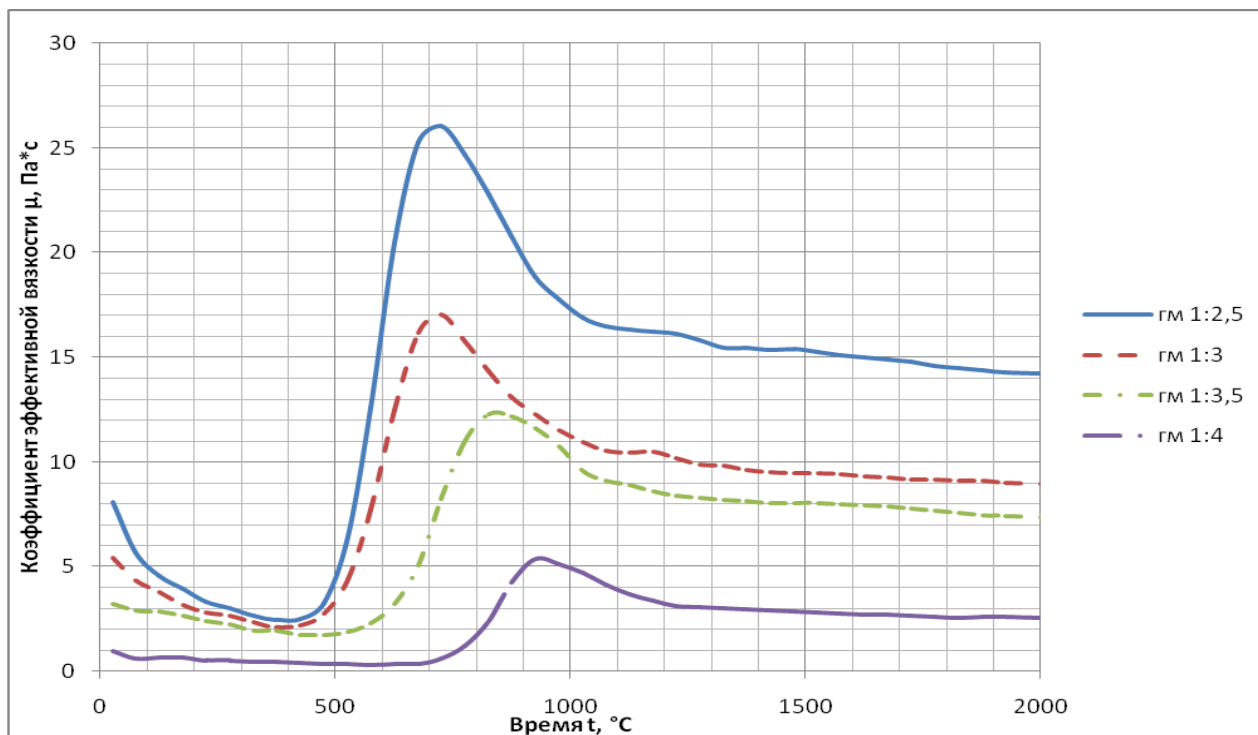


Рисунок 6 – Изменение коэффициента эффективной вязкости μ , водно-зерновых суспензий, всех исследованных гидромодулей, в процессе их водно-тепловой обработки

Изменение коэффициента динамической вязкости μ водно-зерновых суспензий, для всех исследованных гидромодулей в процессе их водно-тепловой обработки, представлено на рисунке 6. Данные показанные на рисунке 6 были получены при постоянной скорости сдвига $\dot{\gamma} = 16 \text{ с}^{-1}$. Следует отметить, что характер изменения μ при всех других скоростях сдвига оставался одним и тем же, за исключением величин значений величин μ .

Представление результатов исследований, показанных на рисунке 6, дает дополнительную информацию о начале существенных изменений происходящих в структуре суспензий. Например, положение реперных точек 1, 2 и 3, по которым ведется определение границ I и II областей, определяющих характерные зоны вязкостно-температурной кривой. Из рисунка 6 видно, что граница перехода из первой области во вторую происходит при различных температурах, т.е. с увеличением гидро модуля величина температуры, при которой коэффициент динамической вязкости имеет минимальное значение, становится более низкой. То же можно сказать и о третьей реперной точке, показывающей максимальное значение коэффициента эффективной вязкости водно-зерновой суспензии. Учитывая, что концентрация измельченного зерна возрастает, то можно сделать вывод о целесообразности, с энергетической точки зрения, проведения процесса водно-тепловой обработки при более низких гидро модулях, т.е. обработке суспензий с большей концентрацией измельченного зерна. Но здесь надо помнить, что значения коэффициентов динамической вязкости, особенно в третьей реперной точке значительно возрастают.

Результаты математической обработки значений коэффициентов эффективной вязкости в зависимости от скорости сдвига, полученные для различных гидромодулей, представлены в таблицах 2–5. Все данные представлены в виде зависимостей μ от скорости сдвига для конкретных температур. Исключение представляет лишь уравнения, полученные для третьей зоны, которая соответствует постоянной температуре $T = 90^\circ\text{C}$. В этом случае уравнения для расчета μ получены после выдержки при этой температуре в течение 1000 с.

Таблица 2

Эмпирические уравнения для расчета коэффициента эффективной вязкости водно-зерновых суспензий (гидромодуль 1:2,5)

Температура, (°C)	Формула
Зона 1. T = 20 - 55°C	
20	$\mu_3=159,6 \dot{\gamma}^{-1,1}$
30	$\mu_3=109,6 \dot{\gamma}^{-1}$
40	$\mu_3=53,4 \dot{\gamma}^{-0,9}$
50	$\mu_3=39,2 \dot{\gamma}^{-0,9}$
55	$\mu_3=34 \dot{\gamma}^{-0,9}$
Зона 2. T=55 - 90°C	
55	$\mu_3=34 \dot{\gamma}^{-0,9}$
60	$\mu_3=37 \dot{\gamma}^{-0,8}$
70	$\mu_3=78,4 \dot{\gamma}^{-0,55}$
80	$\mu_3=102,2 \dot{\gamma}^{-0,5}$
85	$\mu_3=122 \dot{\gamma}^{-0,6}$
90	$\mu_3=161,7 \dot{\gamma}^{-0,8}$
Зона 3. T=90°C (время выдержки 1000с)	
90	$\mu_3=64 \dot{\gamma}^{-0,66}$

Таблица 3

Эмпирические уравнения для расчета коэффициента эффективной вязкости водно-зерновых суспензий (гидромодуль 1:3)

Температура, (°C)	Формула
Зона 1. T = 20 - 55°C	
20	$\mu_3=67,4 \dot{\gamma}^{-1}$
30	$\mu_3=57,6 \dot{\gamma}^{-0,9}$
40	$\mu_3=30,8 \dot{\gamma}^{-0,86}$
50	$\mu_3=21,7 \dot{\gamma}^{-0,83}$
55	$\mu_3=18,2 \dot{\gamma}^{-0,81}$
Зона 2. T=55 - 90°C	
55	$\mu_3=18,2 \dot{\gamma}^{-0,81}$
60	$\mu_3=22 \dot{\gamma}^{-0,82}$
70	$\mu_3=50 \dot{\gamma}^{-0,58}$
80	$\mu_3=71,5 \dot{\gamma}^{-0,55}$
85	$\mu_3=73,3 \dot{\gamma}^{-0,58}$
90	$\mu_3=72,2 \dot{\gamma}^{-0,67}$
Зона 3. T=90°C (время выдержки 1000с)	
90	$\mu_3=42,5 \dot{\gamma}^{-0,6}$

Таблица 4

Эмпирические уравнения для расчета коэффициента эффективной вязкости водно-зерновых суспензий (гидромодуль 1:3,5)

Температура, (°C)	Формула
Зона 1. T = 20 - 50°C	
20	$\mu_3=54,4 \dot{\gamma}^{-1,1}$
30	$\mu_3=47,3 \dot{\gamma}^{-1}$
40	$\mu_3=35,5 \dot{\gamma}^{-1}$
50	$\mu_3=23,6 \dot{\gamma}^{-0,96}$
Зона 2. T = 50 - 90°C	
50	$\mu_3=23,6 \dot{\gamma}^{-0,96}$
60	$\mu_3=23 \dot{\gamma}^{-0,88}$
70	$\mu_3=40,5 \dot{\gamma}^{-0,6}$
80	$78,6 \dot{\gamma}^{-0,66}$
85	$\mu_3=81,2 \dot{\gamma}^{-0,7}$
90	$\mu_3=98 \dot{\gamma}^{-0,8}$
Зона 3. T = 90°C (время выдержки 1000с)	
90	$\mu_3=97 \dot{\gamma}^{-0,84}$

Таблица 5

Эмпирические уравнения для расчета коэффициента эффективной вязкости водно-зерновых суспензий (гидромодуль 1:4)

Температура, (°C)	Формула
Зона 1. T = 20 - 50°C	
20	$\mu_3 = 1,9 \dot{\gamma}^{-0,45}$
30	$\mu_3=2,2 \dot{\gamma}^{-0,5}$
40	$\mu_3=1,2 \dot{\gamma}^{-0,44}$
50	$\mu_3=0,92 \dot{\gamma}^{-0,4}$
Зона 2. T = 50 - 90°C	
50	$\mu_3=0,92 \dot{\gamma}^{-0,4}$
60	$\mu_3=1,4 \dot{\gamma}^{-0,44}$
70	$\mu_3=14 \dot{\gamma}^{-0,56}$
80	$\mu_3=19 \dot{\gamma}^{-0,5}$
85	$\mu_3=16 \dot{\gamma}^{-0,46}$
90	$\mu_3=12,5 \dot{\gamma}^{-0,5}$
Зона 3. T = 90°C (время выдержки 1000с)	
90	$\mu_3=9 \dot{\gamma}^{-0,5}$

Заключение

1. Выполнены исследования физических свойств водно-зерновой суспензии, приготовленной на основе измельченного ржаного зерна.
2. Получены экспериментальные данные по плотности водно-зерновой суспензии для широкого спектра гидромодулей в диапазоне температур 20–90°C, выполнена их графическая и математическая обработка с получением эмпирических уравнений.
3. Получены экспериментальные данные по величине коэффициентов динамической вязкости водно-зерновой суспензии для широкого спектра гидромодулей в диапазоне температур 20–90°C и скоростей сдвига $2,04 \div 436,56 \text{ с}^{-1}$, выполнена их графическая и математическая обработка с получением эмпирических уравнений.
4. Установлено, что течение водно-зерновой суспензии соответствует течению неньютоновских жидкостей, относящихся к группе псевдопластичных жидкостей, т.е. с увеличением скорости сдвига коэффициент динамической вязкости уменьшается.
5. При прогнозировании изменения вязкостных свойств водно-зерновых суспензий происходящих в процессе водно-тепловой обработки предложены четыре реперные точки, наиболее полно характеризующие изменение вязкости суспензии.

Литература

1. Новоселов А.Г., Ибрагимов Т.С., Баракова Н.В., Чеботарь А.В. Повышение эффективности производства спирта за счет проведения нескольких технологических стадий в одном аппарате. 2. Проведение механико-ферментативной обработки зернового сырья в КСИБА // «Процессы и аппараты пищевых производств». 2011. №1.
2. Чеботарь А.В., Ибрагимов Т.С., Новоселов А.Г. Характерные особенности изменения реологических свойств водно-зерновых суспензий в процессе водно-тепловой и ферментативной обработки (ВТФО) зернового сырья // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». 2013. № 1.
3. Чеботарь А.В., Новоселов А.Г., Петрова Д.Л. Влияние времени замачивания измельченного ячменного зерна на максимальную вязкость суслу в процессе водно-тепловой его обработки // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». 2013. № 2.
4. Баракова Н.В. и др. Повышение эффективности производства спирта за счет проведения нескольких технологических стадий в одном аппарате 1. Кожухотрубный струйно-инжекционный броидильный аппарат (КСИБА) // «Процессы и аппараты пищевых производств». 2010. № 2.
5. Баракова Н.В. и др. Периодический способ производства спирта и кожухотрубный струйно-инжекционный аппарат, используемый при осуществлении способа: пат. 499050 Российская Федерация. 2013. Бюл. № 32. 10 с.
6. Гуляева Ю.Н., Новоселов А.Г., Чеботарь А.В., Мераджи В.В. Экспериментальное исследование гидравлических сопротивлений при течении водно-зерновых суспензий в трубах // Научный журнал ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». 2014. № 3. С. 273–284.
7. Гуляева Ю.Н., Новоселов А.Г., Сивенков А.В. Системный подход к анализу процесса водно-тепловой и ферментативной обработки зернового материала в технологии производства пищевого этанола. Часть 2. Анализ блоков «Энергия» и «Аппарат // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». 2015. № 1. С. 126–131.

8. Яровенко В.Л. Технология спирта. М.: Колос, 2002. 465 с.
9. Баракова Н.В. Разработка технологии этилового спирта при пониженных температурных режимах водно-тепловой и ферментативной обработке высококонцентрированных замесов из ячменя: дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2010. 100 с.
10. Яковлев А.Н., Смирных А.А., Бушин М.А., Яковлева С.Ф., Филатова Ю.Н. Влияние мультиэнзимного комплекса на вязкость ржаных замесов // Производство спирта и ликероводочных изделий. 2007. № 1. С. 17–18.
11. Степанов В.И., Иванов В.В., Шариков А.Ю. Одностадийная технология получения высококонцентрированного зернового суслу в спиртовом производстве. М.: Ликероводочное производство и виноделие, 2010. № 3–4. С. 29–30.
12. Громов С.И. Влияние перемешивания на дисперсность и вязкость гомогенизируемых замесов. М., 2009. №10, С. 16-18.

References

1. Novoselov A.G., Ibragimov T.S., Barakova N.V., Chebotar' A.V. Povyshenie effektivnosti proizvodstva spirta za schet provedeniya neskol'kikh tekhnologicheskikh stadii v odnom apparate. 2. Provedenie mekhaniko-fermentativnoi obrabotki zernovogo syr'ya v KSIBA. *Protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv.* 2011, № 1.
2. Chebotar' A.V., Ibragimov T.S., Novoselov A.G. Kharakternye osobennosti izmeneniya reologicheskikh svoystv vodno-zernovykh suspenzii v protsesse vodno-teplovoy i fermentativnoi obrabotki (VTFO) zernovogo syr'ya. *Nauchnyi zhurnal NIU ITMO. Seriya «Protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv».* 2013, № 1.
3. Chebotar' A.V., Novoselov A.G., Petrova D.L. Vliyanie vremeni zamachivaniya izmel'chennogo yachmennogo zerna na maksimal'nuyu vyazkost' susla v protsesse vodno-teplovoy ego obrabotki. *Nauchnyi zhurnal NIU ITMO. Seriya «Protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv».* 2013, № 2.
4. Barakova N.V. i dr. Povyshenie effektivnosti proizvodstva spirta za schet provedeniya neskol'kikh tekhnologicheskikh stadii v odnom apparate 1. Kozhukhotrubnyi struino-inzheksionnyi brodil'nyi apparat (KSIBA). *Protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv.* 2010, № 2.
5. Barakova N.V. i dr. *Periodicheskii sposob proizvodstva spirta i kozhukhotrubnyi struino-inzheksionnyi apparat, ispol'zuemyi pri osushchestvlenii sposoba.* Patent RF no. 2499050. 2013.
6. Gulyaeva Yu.N., Novoselov A.G., Chebotar' A.V., Meradzhi V.V. Eksperimental'noe issledovanie gidravlicheskih soprotivlenii pri techenii vodno-zernovykh suspenzii v trubakh. *Nauchnyi zhurnal ITMO seriya "Protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv".* 2014, № 3.
7. Gulyaeva Yu.N., Novoselov A.G., Sivenkov A.V. Sistemnyi podkhod k analizu protsessa vodno-teplovoy i fermentativnoi obrabotki zernovogo materiala v tekhnologii proizvodstva pishchevogo etanola. Chast' 2. Analiz blokov «Energiya» i «Apparat». *Nauchnyi zhurnal NIU ITMO. Seriya «Protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv».* 2015, № 1.
8. Yarovenko V.L. *Tekhnologiya spirta.* Moscow, Kolos Publ., 2002, 465 p.
9. Barakova N.V. Razrabotka tekhnologii etilovogo spirta pri ponizhennykh temperaturnykh rezhimakh vodno-teplovoy i fermentativnoi obrabotke vysokokontsentririrovannykh zamesov iz yachmenya: dis. ... kand. tekhn. nauk. St.Petersburg, 2010. 100 p.
10. Yakovlev A.N., Smirnykh A.A., Bushin M.A., Yakovleva S.F., Filatova Yu.N. Vliyanie mul'tienzimnogo kompleksa na vyazkost' rzhanykh zamesov. *Proizvodstvo spirta i likerovodochnykh izdelii.* 2007, № 1, pp. 17–18.

11. Stepanov V.I., Ivanov V.V., Sharikov A.Yu. Odnostadiinaya tekhnologiya polucheniya vysokokontsentririrovannogo zernovogo susla v spirtovom proizvodstve. Moscow, *Likerovodochnoe proizvodstvo i vinodelie Publ.*, 2010, № 3–4, pp. 29–30.
12. Gromov S.I. *Vliyanie peremeshivaniya na dispersnost' i vyazkost' gomogeniziruemykh zamesov.* Moscow, 2009, № 10, pp. 16–18.

Статья поступила в редакцию 29.06.2015 г.