

УДК 664.73 (045)

Влияние гранулометрического состава помола зерна

на эффективную вязкость его водных суспензий при нагреве с высокой скоростью в спиртовом производстве

В. Ю. Сидоркин,
канд. техн. наук
ВНИИ пищевой биотехнологии

В процессе производства пищевого этанола вязкость замесов играет определяющую роль при водно-тепловой обработке, так как текучесть замеса определяет степень использования теплового потенциала вторичного пара, величину расхода электрической энергии на перемешивание и транспортировку замеса [1, 2]. В большинстве работ, опубликованных по данному вопросу, исследовалось влияние на вязкость таких технологических факторов как вид зерна, гидромодуль, дисперсность помола зерна, влияние температуры, дозировка разжижающих ферментов и других.

На основании проведенных ранее исследований замесов спиртового производства [3–5], можно сделать вывод, что их вязкость зависит от следующих факторов: концентрации сухих веществ и крахмала; температуры; возраста (времени образования); скорости и напряжения сдвига; механической предыстории (влияние перемешивания); влажности и степени измельчения зерна; культуры зернового сырья. Большинство проведенных до настоящего времени исследований вязкости замесов характеризовали только ее качественные изменения в зависимости от таких технологических факторов как температура, скорость нагрева, концентрация сухих веществ и степень измельчения. Использовать полученные значения вязкости замесов для гидродинамических и тепловых расчетов трубопроводов и аппаратов было нельзя из-за отсутствия знаний значения вязкости при изменении градиента скорости γ и напряжения сдвига τ . Для выяснения влияния высокой скорости нагрева на эффективную вязкость пшеничных замесов с различной

величиной частиц измельченного зерна автором были проведены исследования на электрическом ротационном вискозиметре марки ЭВИС-72С по следующей методике. Пшеницу крахмалистостью 49,5% и с исходной влажностью 14,2% измельчали на лабораторной дробилке, а затем на шаровой мельнице. Измельченное зерно рассевали на наборе лабораторных металлических сит с отверстиями диаметром 1; 0,5 и 0,25 мм на следующие фракции (d): d меньше 1 мм; d меньше 0,5 мм; d от 0,5 до 1 мм; d от 0,25 до 0,5 мм; d меньше 0,25 мм. Из каждой отсеянной фракции брали навеску измельченного зерна и смешивали с водой температурой 30 °С в пропорции 1:3 в лабораторном стакане. Непрерывно помешивая, замес заливали в коаксиальный зазор между цилиндрическим стаканом и измерительной насадкой вискозиметра, после чего включали циркуляцию temperирующей жидкости для подогрева замеса. В качестве temperирующей жидкости использовали воду, нагретую в термостате до температуры 90 °С. За ростом температуры замеса следили по лабораторному термометру с ценой деления 0,1 °С, помещенному в temperирующий блок вискозиметра. При достижении заданной температуры замеса проводили измерения вязкости по следующей методике. Градиент скорости сдвига был постоянным и равным 1,58 с⁻¹. Скорость нагрева составила 6,6 °С в минуту. При вращении измерительного стакана от электродвигателя через многоступенчатый редуктор, на измерительной насадке, помещенной в исследуемый замес, возникал момент, пропорциональный вязкости, под действием которого насадка поворачивалась на определенный угол. Угол пово-

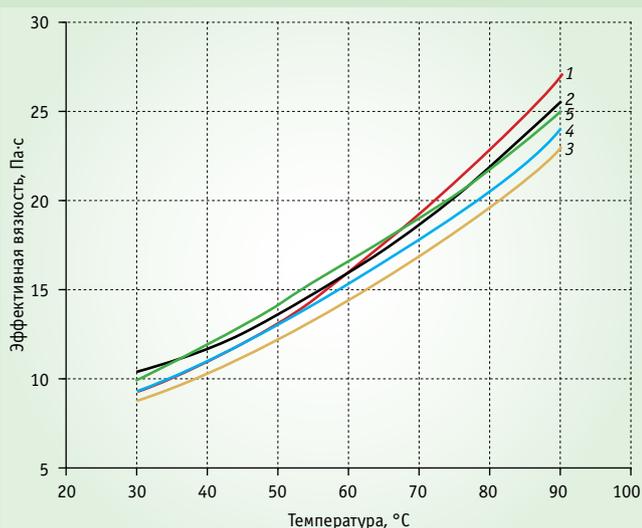


Рис. 1. Зависимость эффективной вязкости замеса от температуры при степени измельчения зерна, мм: 1 — <1; 2 — 0,1–0,5; 3 — 0,5–1,0; 4 — 0,25–0,5; 5 — 0,1–0,25

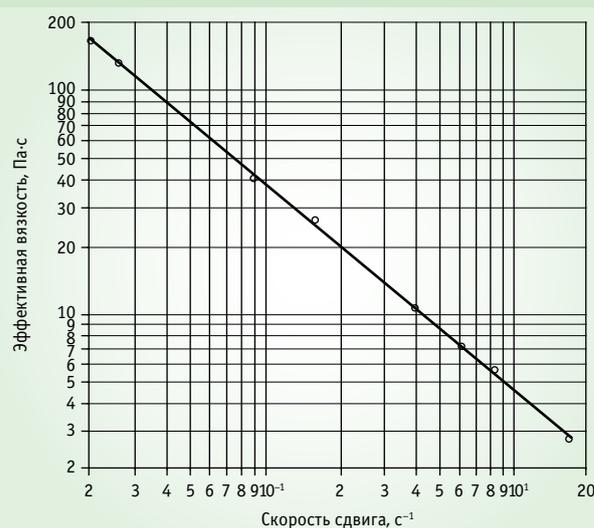


Рис. 2. Зависимость эффективной вязкости замеса от скорости сдвига при температуре 90 °C

рота насадки регистрировался на шкале электроизмерительного прибора, после чего по таблицам, приложенным к прибору, находили значение эффективной вязкости.

Напряжение сдвига вычисляли по формуле:

$$\tau = \dot{\eta} \gamma, \quad (1)$$

где $\dot{\eta}$ — эффективная вязкость замеса; γ — средний градиент скорости сдвига, определяемый по таблице паспорта на вискозиметр.

За результат одного измерения принимали среднее арифметическое значение из трех опытов. Результаты изменений эффективной вязкости в зависимости от степени измельчения зерна в замесе и температуры показаны на рис. 1.

Все полученные зависимости имеют одинаковый характер, типичный для псевдопластичных сред. Графические зависимости показывают, что эффективная вязкость замесов с размерами частиц дробленого зерна меньше 1 мм (кривая 1) в среднем на 0,8 Па·с ниже эффективной вязкости замесов с частицами зерна размером меньше 0,5 мм (кривая 2) при тех же температурах.

Аналогичная зависимость наблюдается и для замесов с более однородным по составу размером частиц зерна. Так, эффективная вязкость замесов с частицами размером от 0,5 до 1 мм (кривая 3) в среднем на 0,5 Па·с ниже эффективной вязкости замесов с размером частиц зерна от 0,25 до 0,5 мм (кривая 4) и на 1,3 Па·с ниже эффективной вязкости замеса с частицами размером меньше 0,25 мм (кривая 5). Особенно заметна эта разница

при температуре 90 °C. В этом случае, эффективная вязкость замеса с наиболее крупными частицами (кривая 3) на 4 Па·с меньше эффективной вязкости замеса с наиболее мелкими частицами (кривая 5). Из изложенного можно сделать вывод, что при данной скорости сдвига эффективная вязкость замесов с более мелкими частицами зерна выше, чем у замесов с более крупными частицами. Такое влияние размера частиц зерна на вязкость можно объяснить адсорбированием ими воды, слои которой увеличивают их эффективный объем. При одинаковой толщине этих слоев для частиц разных размеров увеличение эффективного объема пропорционально их полной поверхности, и поэтому больше для замесов с малыми частицами. Вероятно, явление увеличения эффективной вязкости в замесах с меньшими частицами вызывается двумя одновременно действующими факторами: увеличением эффективного объема частиц и ускорением начала процесса клейстеризации крахмала, приводящего к образованию трехмерной пространственной структуры из клейстера. Сравнивая эффективную вязкость замесов с различными размерами частиц (кривые 1–5), можно отметить, что она, в основном, обусловлена температурой и наличием частиц с размерами меньше 0,25 мм.

В целом же следует отметить, что эффективная вязкость замесов с частицами разных размеров мало различается до температуры 80 °C. При нагреве с 30 до 90 °C эффективная вязкость увеличивается незначительно, в среднем в 2,5 раза, что можно объяснить терми-

ческим разрушением амилолитических ферментов зерна, способствующих усилению клейстеризации крахмала зерна.

В настоящее время спиртзаводы в основном перерабатывают замесы из зерна, степень измельчения которого характеризуется 90–100%-ным проходом частиц сквозь сито с отверстиями диаметром 1 мм, поэтому была проведена математическая обработка экспериментальных данных для получения аналитической зависимости между его температурой и эффективной вязкостью при скорости сдвига равной 1,58 с⁻¹. Указанная зависимость представлена в графическом виде на рис. 2. Характер кривой на графике показывает, что она характерна для многих пищевых неньютоновских сред и описывается формулой:

$$\dot{\eta} = \alpha e^{-bx}. \quad (2)$$

Для нахождения значений коэффициентов α и b в уравнении (2) представим его в виде:

$$y = \dot{\alpha} e^{bx}, \quad (3)$$

где $y = \dot{\eta}$, $a = b \cdot t$.

Логарифмируя обе части уравнения (3), находим численные значения коэффициентов α и b способом наименьших квадратов. Определенные таким образом значения коэффициентов оказались равны: $\dot{\alpha} = 0,0338$ и $b = 0,0185$.

Подставив полученные значения в формулу (3), окончательно получим:

$$\dot{\eta} = 0,0338 e^{0,0185(t+273)}. \quad (4)$$

Экспериментальные данные и расчетные значения эффективной вязкости, вычисленные по формуле (4), показывают высокую сходимость.

В связи с тенденцией быстро подвигивать замес до температур 80...90 °С, с целью полной утилизации тепла вторичного пара, большой интерес представляет знание зависимости эффективной вязкости замеса от напряжения и скорости сдвига при температуре 90 °С.

На рис. 2 экспериментальные данные указанной зависимости представлены в двойных логарифмических шкалах.

Расположение на графике значений $\lg \eta$ и $\lg \dot{\gamma}$ около прямой линии, дает нам право предположить [6] наличие между ними зависимости вида:

$$\eta = \alpha \gamma^b. \quad (5)$$

Прологарифмировав данное выражение, получим:

$$\lg \eta = \lg \alpha + b \lg \gamma.$$

Заменяя $\lg \eta = Y$; $\lg \gamma = X$; $\lg \alpha = A$, приходим к уравнению прямой линии:

$$Y = A + bX. \quad (6)$$

Численные значения коэффициентов α и b находили математической обработкой экспериментальных данных по методу наименьших квадратов, в результате которой получили $\alpha = 38,437$; $b = -0,916$.

В окончательном виде формула (6) выглядит следующим образом:

$$\eta = 38,437 \gamma^{-0,916}. \quad (7)$$

Разность между экспериментальными значениями эффективной вязкости замеса и вычисленными по полученной формуле не превышает 2%, что указывает на их высокую сходимость.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Востриков, С. В.* Факторы, влияющие на вязкость пшеничных замесов/С. В. Востриков [и др.] // Производство спирта и ликероводочных изделий. — 2006. — № 1. — С. 32–33.
2. *Яковлев, А. Н.* Влияние мультиэнзимного комплекса на вязкость ячменных замесов/А. Н. Яковлев [и др.] // Хранение и

переработка сельхозсырья. — 2009. — № 9. — С. 46–47.

3. *Бушин, М. А.* Изменение углеводного состава и вязкости зернового замеса в процессе водно-тепловой обработки/М. А. Бушин, С. В. Востриков, А. Н. Яковлев // Производство спирта и ликероводочных изделий. — 2006. — № 3. — С. 22–23.
4. *Крикунова, Л. Н.* Технология этанола на основе получения и сбраживания концентрирования суслу из ИК-обработанного ячменя/Л. Н. Крикунова, Л. И. Сумина // Хранение и переработка сельхозсырья. — 2009. — № 2. — С. 51–54.
5. *Долгов, А. Н.* Влияние технологических параметров на состав и реологические свойства замесов из пшеничной муки/А. Н. Долгов [и др.] // Хранение и переработка сельхозсырья. — 2014. — № 9. — С. 10–12.
6. *Пономарева, Е. И.* Моделирование структурно-механических свойств теста из биоактивированного зерна пшеницы/Е. И. Пономарева [и др.] // Хранение и переработка сельхозсырья. — 2009. — № 9. — С. 66–69.

Влияние гранулометрического состава помола зерна на эффективную вязкость его водных суспензий при нагреве с высокой скоростью в спиртовом производстве

Ключевые слова

замес; производство спирта; степень измельчения; скорость нагрева; скорость сдвига; эффективная вязкость.

Реферат

Цель работы — исследовать влияние гранулометрического состава измельченной пшеницы с частицами размером от 0,25 до 1 мм, разделенных на 5 фракций, в замесах спиртового производства с гидромодулем 1:3, нагреваемых с высокой скоростью (6,6 °С в мин) от 30 до 90 °С при постоянной скорости сдвига, на их эффективную вязкость; использовать полученные экспериментальные данные для моделирования процесса приготовления замеса и расчетов технологического оборудования с целью максимального использования вторичных энергетических ресурсов спиртового производства. Работы выполняли во ВНИИ пищевой биотехнологии. Установлено, что при постоянной скорости сдвига, увеличение эффективной вязкости в замесах обусловлено присутствием в них частиц зерна размером меньше 0,25 мм. Показано, что при нагреве с высокой скоростью эффективная вязкость замесов увеличивается всего в 2,5 раза. Для замеса со 100%-ным проходом частиц измельченного зерна через сито диаметром 1 мм, перерабатываемого в спиртовом производстве, в результате математической обработки экспериментальных данных получена аналитическая зависимость между температурой и эффективной вязкостью. Для выяснения влияния скорости сдвига на эффективную вязкость замеса, нагретого до температуры 90 °С, которая обеспечивает максимальную утилизацию вторичных энергетических ресурсов в спиртовом производстве, исследовали зависимость эффективной вязкости замесов от скорости сдвига при указанной температуре. В результате математической обработки экспериментальных данных получена аналитическая зависимость между указанными параметрами, показывающая, что при увеличении скорости сдвига эффективная вязкость уменьшается. Приведенные результаты экспериментов представляют ценность как для понимания реологических процессов, протекающих в замесах при технологической обработке, так и для расчетов технологического оборудования спиртового производства.

Автор

Сидоркин Владимир Юрьевич, канд. техн. наук
ВНИИ пищевой биотехнологии,
111033, Москва, Самокатная ул., д. 46, foodbiotech@yandex.ru

The Influence of Grain-size Distribution of Grinding Grain on the Effective Viscosity of Its Aqueous Suspensions During Heating with High Speed in Alcohol Production

Key words

batch; production of alcohol; fineness; the heating rate; shear rate; effective viscosity.

Abstract

The aim of the work was to investigate the influence of particle size distribution of divided into 5 fractions ground wheat with a particle size from 0.25 to 1 mm on viscosity of mashes with substrate to water ratio 1:3 heated at the 6.6 °C per minute from 30 to 90 °C at a constant shear rate. It is found that increase of the effective viscosity of the mash is caused by the presence of grain particles with size less than 0.25 mm at a constant shear rate. It is shown that the effective viscosity of the mashes increases with heating at a high rate only in 2.5 times. As a result of mathematical processing of experimental data, analytical relationship between temperature and the effective viscosity is obtained for mashes with wheat grounded through a sieve with 1mm mesh size. Relations between the mash effective viscosity and a shear rate at the 90 °C were investigated for determination of the effect of shear rate on effective viscosity which provides maximum utilization of secondary energy resources in ethanol production. Analytic parameter dependence shows that increasing shear rate results in effective viscosity decrease. The results of experiments are valuable for understanding of the rheological processes occurring in the mashes on stage of its preparation for following wheat fermentation. Obtained experimental data can be used for modeling the batch preparation and calculation of process equipment in order to maximize the use of secondary energy resources of ethanol production.

Author

Sidorkin Vladimir Yurevich, Candidat of Technical Sciences
All-Russian Research Institute of Food Biotechnology
46 Samokatnaya St., Moscow, 111033, Russia, foodbiotech@yandex.ru