

УДК 637.143

## **Исследование влияния амилолитических ферментов на вязкость водно-зерновой суспензии в процессе водно-тепловой ферментативной обработки ячменного зерна**

**Чеботарь А.В.** strategiay@mail.ru, **Петрова Н.Л.** diesonne140@mail.ru

*д-р техн. наук, проф.* **Новоселов А.Г.** dekrosh@mail.ru

*Университет ИТМО*

*Институт холода и биотехнологий*

*921002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9*

*В статье представлены результаты изучения реологических характеристик водно-зерновой суспензии в процессе ее водно-тепловой и ферментативной обработки. Приведено сравнение кривых вязкости в зависимости от изменения температуры в диапазоне 20÷90°C при присутствии и отсутствии ферментного препарата. Установлено, что при дозировке ферментного препарата Дистицим БА-Т special 2 ед. АС на 1г крахмала максимальная эффективная вязкость водно-зерновой суспензии снижается в 15÷40 раз. Установлено, что кроме влияния ферментного препарата на коэффициент эффективной вязкости влияет скорость движения суспензии. Показано, что кривую изменения вязкости от температуры можно разбить на четыре характерные зоны, ограниченные тремя диапазонами температур. Каждая из этих зон соответствует определенному состоянию структуры двухфазного потока, возникающей в этих областях при трансформации нативного крахмала в водорастворимое состояние.*

*Ключевые слова:* реология, водно-зерновая суспензия, эффективная вязкость.

---

## **Studying of the influence the amylolitic enzymes to viscosity of the water grain suspensions in water-heating and enzyme treatment of barley**

**Chebotar A.V.** strategiay@mail.ru, **Petrova N.L.** diesonne140@mail.ru

**Novoselov A.G.** dekrosh@mail.ru

*University ITMO*

*Institute of Refrigeration and Biotechnologies*

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

*In the article there is an information on results of studying the water grain suspension rheology in water-heating and enzyme treatment. There is an analysis of the difference the Rheology curves depends on changing of the temperature in a range 20-90 °C in cases of presence and absence of the enzymes. It is found that in case of use Disticim BA-T special at 2 units AC per 1g starch the max viscosity of the suspension is reduced in 15-40 times. Also observed, that reduction of the viscosity is due to changing of the rate. It is shown that each viscosity curve can be divided by 4 zones limited by 3 temperature zones. Each zone is respecting to the special condition of the double-phase flow, coming in the zones during transforming of the natural starch to dissolved condition.*

*Key words:* rheology, water-grain suspension, effective viscosity.

---

В ранних публикациях [1-3] нами были рассмотрены пути совершенствования машинно-аппаратурного оформления технологического процесса производства этанола

из крахмалосодержащего растительного сырья. Была показана перспективность последовательного проведения трех технологических стадий этого производства в одном аппарате – кожухотрубном струйно - инъекционном бродильном аппарате (КСИБА).

Одной из наиболее проблематичных стадий в технологии производства этанола из крахмало - содержащего растительного сырья является стадия водно - тепловой обработки (ВТО) зернового затора. Главной целью этой стадии технологического процесса является перевод нативного крахмала, содержащегося в зерне, в водорастворимые углеводы, которые в дальнейшем будут являться питательным веществом для микроорганизмов, синтезирующих этанол.

Трансформация нативного крахмала в водорастворимые углеводы неизбежно сопровождается процессом клейстеризации, т.е. переходом зернового крахмала из твердого состояния в жидкое. В процессе клейстеризации вязкость затора резко возрастает, что создает технико-технологические трудности при проведении данной стадии. Разжижение затора во время клейстеризации с целью снижения его вязкости, заключается в диспергировании нерастворимых зерен крахмала в водном растворе при частичном гидролизе полисахарида с помощью термостабильной амилазы.

Механизм инверсии нативного крахмала в водорастворимые углеводы изучен недостаточно полно, чтобы получить аналитические выражения для расчета этого процесса. В основном его изучение ведется на базе феноменологического подхода к изучению этого явления. Заключается он в экспериментальном исследовании изменения реодинамических характеристик потока водно-зерновой суспензии и, в первую очередь, коэффициента эффективной вязкости при варьировании внешних воздействий, а именно, температуры и скорости движения суспензии. Такой подход представляется нам наиболее оправданным т.к. он, с одной стороны, дает косвенную информацию о наличии явлений, происходящих в изучаемой среде и, в первую очередь, о скорости протекающих в ней процессов. С другой стороны, полученные экспериментальные данные позволяют, не углубляясь в этот механизм получить эмпирические зависимости, достаточные для инженерных расчетов технологического оборудования и коммуникаций.

Проведенные нами предварительные исследования показывают, что на коэффициент динамической вязкости  $\mu_{\text{дин}}$  водно-зерновых заторов решающее влияние оказывают следующие факторы: исходная концентрация и гранулометрический состав измельченного зерна; время контакта зерна с водой (время затирания), гидродинамическая обстановка в аппарате (гидродинамическая обработка сырья); температура и скорость нагрева затора. Было установлено, что изменение коэффициента динамической вязкости водно-зерновой суспензии в процессе ВТО носит сложный характер (рис.1), что связано с происходящими в ней явлениями.

Более подробно качественный анализ кривых, представленных на рис.1 дан нами в работе [3]. Здесь же логично констатировать наличие четырех характерных зон на этой кривой, а именно:

I зона – снижение вязкости в диапазоне температур  $T, ^\circ\text{C} - 20 \div 65$ .

II зона – повышение вязкости в диапазоне температур  $T, ^\circ\text{C} - 65 \div 90$ .

III зона – снижение вязкости при  $T = 90 ^\circ\text{C}$  в течении некоторого времени выдержки при этой температуре.

IV зона – постоянные значения вязкости при  $T = 90 ^\circ\text{C}$ .

Ранее [3] было высказано предложение о целесообразности характеризовать данный процесс (процесс ВТО) граничными значениями коэффициента динамической вязкости  $\mu_{\text{дин}}$ , отражающими начало и конец процессов, происходящих в обрабатываемой среде. При этом были определены наиболее важные значения  $\mu_{\text{дин}}$ , информирующие о начале и окончании того, или иного процесса, соответствующего выделенным выше зонам.

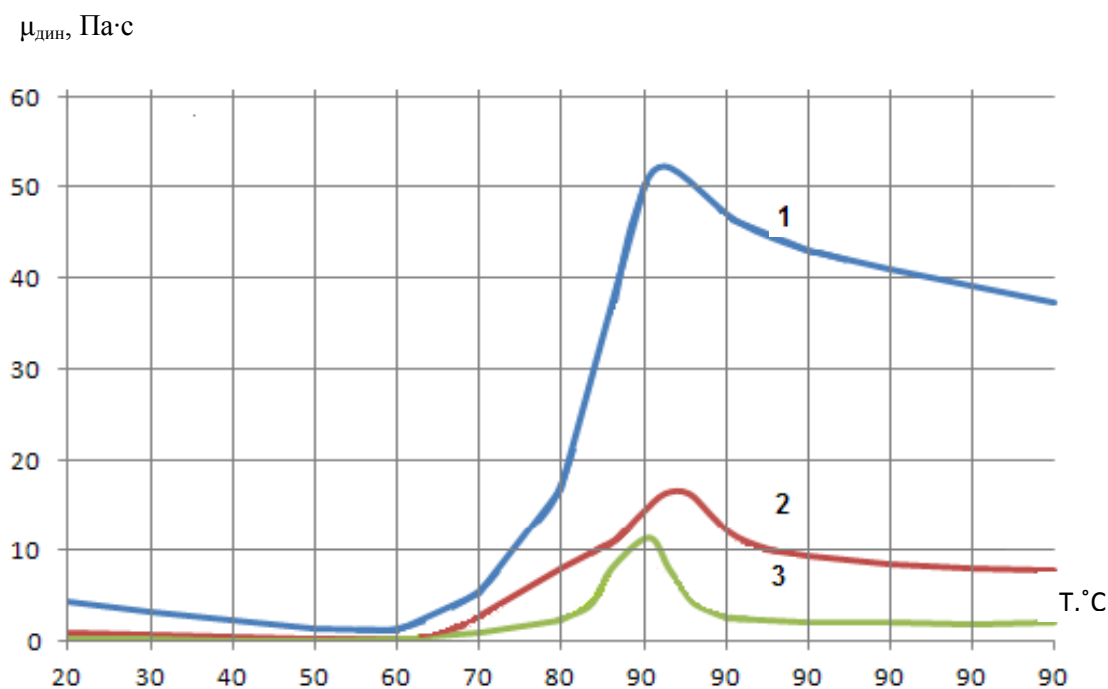


Рис.1. Зависимость изменения вязкости от температуры с разными скоростями сдвига без применения ферментов (ВТО). 1 –  $\gamma=16,32 \text{ c}^{-1}$ ;  
2 –  $\gamma=81,6 \text{ c}^{-1}$ ; 3 –  $436,56 \text{ c}^{-1}$

Это позволяет получить математические зависимости изменения  $\mu_{\text{дин}}$  в течение времени с изменением температуры среды, не рассматривая физико-химические процессы, происходящие на этих стадиях.

В данной статье представлены результаты изменения коэффициента динамической вязкости водно-зерновой суспензии на различных скоростях сдвига при изменении температуры в диапазоне от  $20 \div 90 ^\circ\text{C}$  для гидромодуля 1:3 в присутствии ферментных препаратов (ФП), вызывающих гидролитическое расщепление крахмалов.

Исследования проводились следующим образом: в чистый мерный стакан вносили необходимое количество измельченного зерна ячменя (со 100% проходом через сито 1 мм) и тщательно взвешивали. Потом добавляли требуемое количество дистиллированной воды, которое позволяло получить затор с гидромодулем 1:3. Затем в смесь воды и зерна вносили ферментный препарат Дистицим БА-Т special с дозировкой 0,0176 мл. И далее подготовленную пробу 30 мл переносили в измерительный цилиндр реотеста марки RHEOTEST RN4, который предварительно был термостатирован до температуры 20°C.

Для всей серии опытов постоянными были следующие исходные данные:

гидромодуль – 1:3;

начальная температура затора  $T$ , °C - 20;

время проведения одного эксперимента  $\tau$ , с - 2000,

а переменными величинами являлись:

скорость сдвига  $\gamma$ , с<sup>-1</sup> - 2,04 ÷ 436,56

температура затора  $T$ , °C – 20 ÷ 90.

Ниже (рис.2) представлены выборочные результаты проведенных экспериментов для соответствующих условий проведения ВТО, показанных на рис.1.

Анализ графиков на рис.1 и рис.2 показывает, что при одинаковом гидромодуле 1:3 и одинаковой скорости сдвига коэффициент динамической вязкости затора в интервале 60 ÷ 90°C с применением разжижающих ферментов снижается в 15 ÷ 40 °C раз в зависимости от увеличения скорости сдвига. Определенное влияние на снижение коэффициента динамической вязкости затора оказывает гидродинамическая обстановка в реотесте, а точнее скорость движения жидкости в ячейке реотеста. Здесь же видно, что характерные зоны, выделенные нами на графиках функций коэффициента динамической вязкости  $\mu_{\text{дин}}$  от температуры  $T$ , также присутствует в явном виде, что свидетельствует о тождественности происходящих явлений и присутствии амилолитического ферментного препарата.

Отличительной особенностью полученных результатов является равенство коэффициента максимальной вязкости  $\mu_{\text{max}}$  и коэффициента начальной вязкости  $\mu_{\text{нач}}$ . Это говорит о том, что дозировка ферментного препарата была вполне достаточной для решения поставленной задачи, и в дальнейшем речь может идти о поиске более эффективного ферментного препарата, который будет наиболее оптимальным с экономической точки зрения.

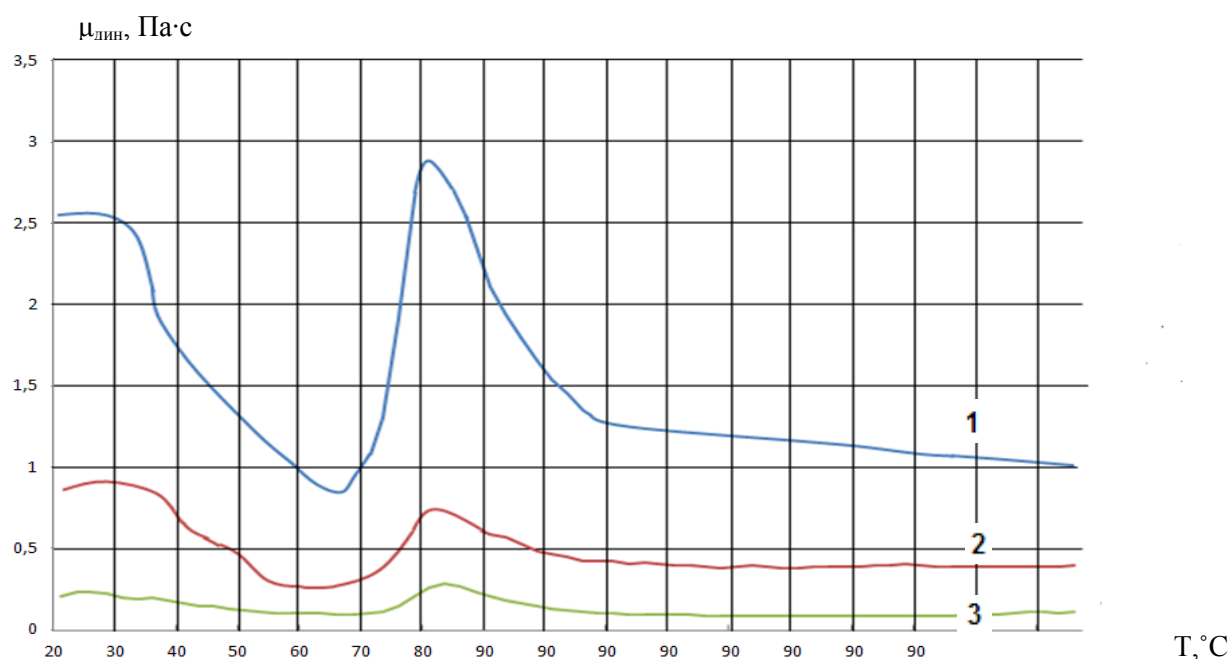


Рис.2. Зависимость изменения вязкости от температуры с разными скоростями сдвига с применением ферментов (ВТФО). 1 –  $\gamma=16,32 \text{ c}^{-1}$ ;

$$2 - \gamma=81,6 \text{ c}^{-1}; 3 - 436,56 \text{ c}^{-1}$$

Отличительной особенностью полученных результатов является равенство коэффициента максимальной вязкости  $\mu_{\max}$  и коэффициента начальной вязкости  $\mu_{\text{нач}}$ . Это говорит о том, что дозировка ферментного препарата была вполне достаточной для решения поставленной задачи, и в дальнейшем речь может идти о поиске более эффективного ферментного препарата, который будет наиболее оптимальным с экономической точки зрения.

#### Список литературы:

1. Баракова Н.В., Ибрагимов Т.С, Начетова М.А., Новоселов А.Г. Повышение эффективности производства спирта за счет проведения нескольких технологических стадий в одном аппарате 1. Кожухотрубный струйно-инжекционный бродительный аппарат (КСИБА) // ЭНЖ «Процессы и аппараты пищевых производств». 2010. № 2.

2. Патент №2499050 Периодический способ производства спирта и кожухотрубный струйно-инжекционный аппарат, используемый при осуществлении способа. Бюл. №32 от 20.11.2013 г.

3. Новоселов А.Г. и др. Характерные особенности изменения реологических свойств водно-зерновых суспензий в процессе водно-тепловой и ферментативной обработки (ВТФО) зернового сырья/ А.Г. Новоселов, А.В. Чеботарь, Т.С. Ибрагимов // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств» 2013. - №1. [Электронный ресурс]: <http://www.processes.ihbt.ifmo.ru>