

ΓΙΤΙΤΑ Α.Γ., ΓΑΕΥΘΕΕΙ Α.Α.  
Γ ΔΑΙ ΔΟΔΑΝΕΕΕ ΑΙ ΝΟΑΔΘΝΟΑΑΙ ΓΙΕ ΟΙ ΕΑΑΘΝΕΘΑΘ

## Γ ΑΟΙ ΑΕΕΑ ΑΔΑΟΙ ΑΙ ΑΕΕΘΕ×ΑΝΕΙ ΑΙ ΔΑΝ×ΑΟΑ ΔΑΙ ΕΙ ΑΕ×ΑΝΕΕΘ ΘΑΔΑΕΘΑΔΕΝΘΕΕ Ι ΕΥΑΑΥΘ Ι ΔΙ ΑΟΕΘΙ Α

Γ α ααα γεπi αδεi αf οαευi γαf εννεααi ααf εγ i δααεαααααονγ i αοi αεα δαν-αοα δαf ει αε-απεεο οα-δαεοαδεπθεε i ευααυθ i δι αοεοi α ε i αi δοαi ααf εα αεγ ααi i νουαποαεαf εγ. Ααi f ay i αοi αεα i i ααο αυου ενi i ευci ααf α αεγ δαν-αοα i δι οανηi α, ει οi ουα i αi αοi αει i i δι εαf αεου i δε ηi ααf εε i f αυο ει i ηοδοεθεε i αοει ε δαει i ηοδοεθεε νουαποαορυεο, α οαεαα αεγ αυαi δα i αεαf εαα δαοει f αευi υο δααει i α δααf ου i αi δοαi ααf εγ ε i i οει αευi υο οαοi f ει αε-απεεο ηοαi i δι εαf αηοαα.

Для создания современных технологических процессов, позволяющих получить продукт высокого качества, необходимо практически в каждом конкретном случае изучить комплекс реологических свойств, которые характеризуют поведение пищевых масс под действием механических нагрузок со стороны рабочих органов машин. Реологические свойства могут быть использованы в качестве контролируемых параметров при создании автоматизированных систем управления оборудованием, а также при автоматизированном контроле качества продукции. Знание реологических характеристик пищевых материалов позволяет управлять структурой и качеством готового продукта путем изменения режимов работы и способов механической и технологической обработки [1].

Μαθηματικό описание протекания реологических преобразований в продуктах позволяет моделировать технологические процессы с целью их оптимизации и интенсификации. На практике получили широкое распространение экспериментальные методы построения математических моделей, которые, как правило, сводятся к способам параметрической идентификации, т. е. к способам определения параметров модели заданной структуры по данным эксперимента.

В тех случаях, когда исследуемый материал обладает упруго-вязко-пластичными свойствами, целесообразно определять его структурно-механические свойства при растяжении. Определение реологических характеристик продукта может быть произведено путем установления аналитических зависимостей между изменением

реологических свойств продукта и его линейной деформацией при растяжении.

Для исследования растяжения проводились испытания на макаронных полуфабрикатах, изготовленных путем прессования различных видов сырья на пресс-экструдере ПЭШ-30/40. Полуфабрикаты подвергались гигротермической обработке, затем высушивались конвективным способом. Образцы макарон (внешний диаметр 8 мм, внутренний – 5 мм, длина 150 мм) подвергали испытанию через определенные интервалы времени в течении всего процесса сушки при постоянной скорости растягивания образцов  $\dot{\epsilon} = 0,167c^{-1}$ .

Растяжение макаронных полуфабрикатов производилось при помощи специально изготовленной насадки и разработанного во МТИППе прибора ПМ, показанного на рис. 1.

Растягивали макаронные полуфабрикаты при помощи насадки (рис.2), которая представляет собой прищепку с прорезиненными захватами. Прищепка крепится к крючку прибора ПМ.

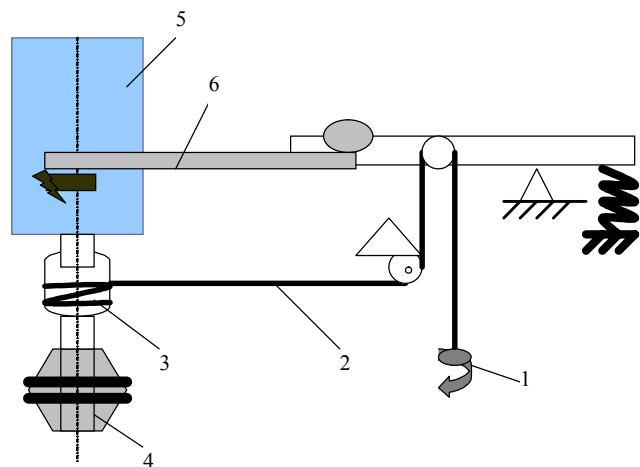


Рисунок 1. Схема прибора ПМ:  
1 – крючок; 2 – нить; 3 – барабан; 4 – электродвигатель;  
5 – измерительный цилиндр; 6 – стрелка

Прибор работает следующим образом: при включении двигателя 4 прибора нить 2 наматывается на барабан 3 и поднимает планку с прищепкой. Макароны полуфабрикаты сначала растягиваются, затем рвутся, и усилие, необходимое для этого, отмечается стрелкой 6 на шкале, нанесенной на измерительный цилиндр 5.

Опыт повторяли не менее 3 раз, и за окончательный результат принимали среднее арифметическое (грубые промахи при этом

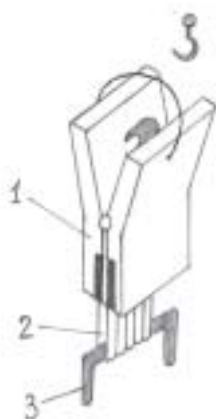


Рисунок 2. Схема насадки для растяжения: 1 – активный захват; 2 – образец макаронных полуфабрикатов; 3 – пассивный захват

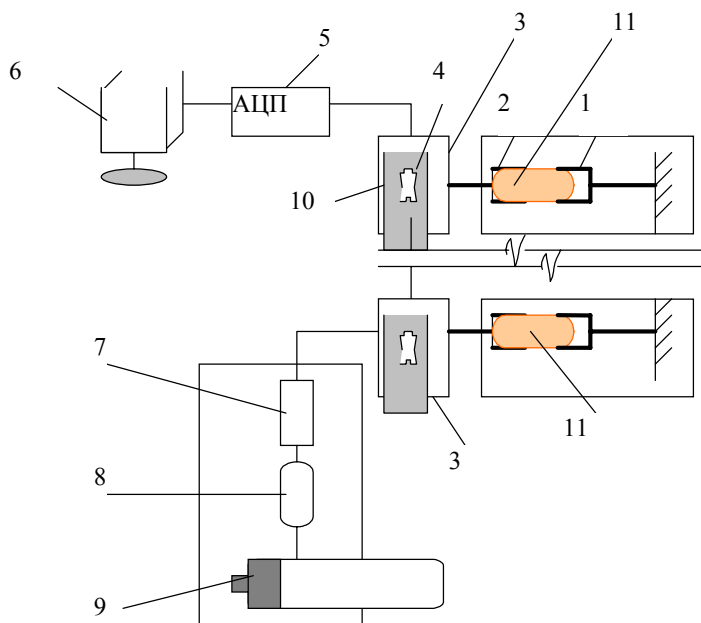


Рисунок 3. Устройство для испытания пищевых материалов на растяжение:

- 1 – пассивный захват, 2 – активный захват, 3 – нагрузатель,
- 4 – тензодатчики, 5 – аналого-цифровой преобразователь,
- 6 – компьютер, 7 – редуктор, 8 – вариатор, 9 – электродвигатель,
- 10 – металлическая пластина, 11 – испытательный образец.

выбраковывали), причем для уменьшения погрешности прибор тарировался каждый раз на каждую серию экспериментов (масса навесок для тарировки от 100 до 2000 г).

Для более точного получения информации о характере изменения деформации растяжение может быть произведено с помощью устройства для испытания пищевых материалов на растяжение, представленного на рис. 3.

Устройство работает следующим образом. Испытательный образец одним концом закрепляется в пассивном захвате, другим в активном захвате. В качестве испытательного образца могут использоваться макаронные изделия, полуфабрикаты вспученных экструдатов и другие коллоидные капиллярно-пористые пищевые материалы.

Подвод активного захвата в исходное положение осуществляется путем движения нагрузателя в обратном направлении. В результате работы электродвигателя через вариатор и редуктор нагрузатель приводит в движение и сообщает равномерную растягивающую нагрузку активному захвату. Сигнал, получаемый с тензодатчиков, регистрируется на аналого-цифровом преобразователе и передается в компьютер, где преобразуется в

численные значения измеряемой величины, которые записываются в виде массива данных и графика зависимости от времени в файл.

Применение нагрузателя, содержащего электродвигатель, вариатор и редуктор, позволяет равномерно сообщать растягивающую нагрузку образцу, при этом устанавливая зависимость не только между удлинением и реологическими свойствами продукта, как это делалось ранее на аналогичных приборах [2], но и зависимость изменения реологических свойств от времени нагружения, и как следствие, позволяет судить о качестве продукта по времени, за которое произошло определенное изменение образца.

Использование в предлагаемой конструкции тензометрии, компьютерной обработки сигналов, а

также зависимости качества продукта от времени нагружения испытательного образца, позволяет применять его для автоматизированного контроля и регулирования технологического процесса.

Диаграммы растяжения макаронных полуфабрикатов представляют собой типичные диаграммы для упруго-вязко-пластичных материалов: наблюдается нелинейная зависимость между напряжением и деформацией, процесс растяжения заканчивается при достижении максимального напряжения.

Такие зависимости получали при растяжении теста из пшеничной муки первого сорта для батончиков, тестовых заготовок армянского матнакаша, плоской ленты из макаронного теста [3, 4]. По этим зависимостям определялись прочностные и упругие характеристики продуктов, а затем устанавливалась

степень механического воздействия при приготовлении.

В данном случае с помощью устройства для растяжения получается графическая зависимость нормального напряжения от удлинения, представленная на рис. 4 на примере макаронного полуфабриката с влажностью 22% и температурой 75°С, позволяющая определить предел прочности и относительное удлинение.

Из рисунка 4 видно, что кривая, символизирующая экспериментальную зависимость, пересекает ось ординат при значении 30 кПа, что соответствует пределу текучести материала и определяется реологической моделью Бингама. При ее продолжении в сторону увеличения удлинения кривая стремится к достижению предельного (максимально возможного) напряжения  $\sigma_{II} = 525,47$  кПа.

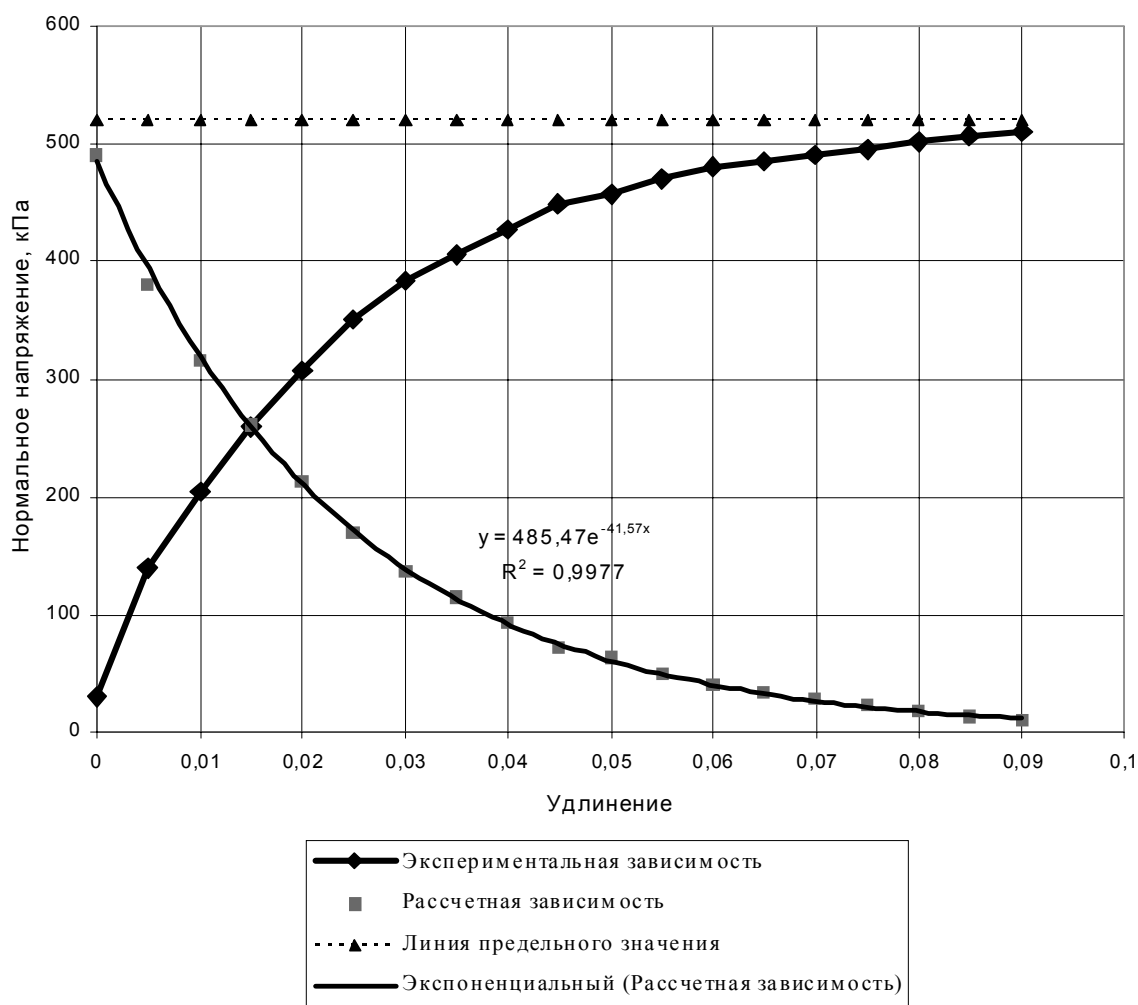


Рисунок 4. Зависимость нормального напряжения от удлинения при влажности высушиваемого образца 22% и температуре 75°С

Ординаты кривой расчетной зависимости получены по формуле:

$$y_i = y_{1i} - y_{2i} - \sigma_T, \quad (1)$$

где  $y_{1i}$  – ординаты линии предельного напряжения ( $\sigma_{II} = 525,47$  кПа);

$y_{2i}$  – ординаты экспериментальной зависимости.

Расчетная зависимость аппроксимирована путем построения линии тренда и получена экспоненциальная зависимость вида  $y = A \cdot e^{-B \cdot x}$ . В данном случае,  $A = 485,75$ ;  $B = 41,57$ .

При постоянной скорости сушки макаронного полуфабриката внутренние напряжения, возникающие в продукте, описываются следующей зависимостью [5]:

$$\sigma = \left( \dot{\epsilon} \eta_T + \sigma_T \right) \cdot \left( 1 - e^{-\frac{E \cdot \epsilon}{\eta_T \cdot \dot{\epsilon}}} \right), \quad (2)$$

где  $\sigma$  – нормальное напряжение, Па;  
 $\dot{\epsilon}$  – скорость продольного течения, с<sup>-1</sup>;  
 $\eta_T$  – вязкость при продольном течении, с<sup>-1</sup>;  
 $\sigma_T$  – предел текучести при растяжении, Па;  
 $E$  – модуль упругости ;  
 $\epsilon$  – удлинение изделий.

Учитывая, что реологические свойства макаронного полуфабриката описываются уравнением (2) имеем:  $A = \dot{\epsilon} \cdot \eta_T$ , отсюда получаем вязкость при продольном течении

$$\eta_T = \frac{A}{\dot{\epsilon}} = \frac{485,47}{0,167} = 2907 \text{ кПа} \cdot \text{с.}$$

А модуль упругости при линейной деформации получаем исходя из того, что  $B = \frac{E}{\eta_T \cdot \dot{\epsilon}}$ , поэтому

$$E = B \cdot \eta_T \cdot \dot{\epsilon} = 41,57 \cdot 2907 \cdot 0,167 = 194,41 \text{ кПа.}$$

У макаронных полуфабрикатов по мере уменьшения влажности снижаются свойства пластичности и возрастают прочностные и упругие характеристики. Величина внутренних напряжений в изделиях тем больше, чем интенсивнее удаляется влага с поверхности изделий, чем больше отстает темп подвода влаги из внутренних слоев. По мере сушки реологические свойства макаронных полуфабрикатов отражаются в модели Максвелла и описываются зависимостью вида [5]:

$$\sigma = \dot{\epsilon} \eta_T \left( 1 - e^{-\frac{E \cdot \epsilon}{\eta_T \cdot \dot{\epsilon}}} \right) \quad (3)$$

Аналогично вышеуказанному примеру определяются реологические характеристики

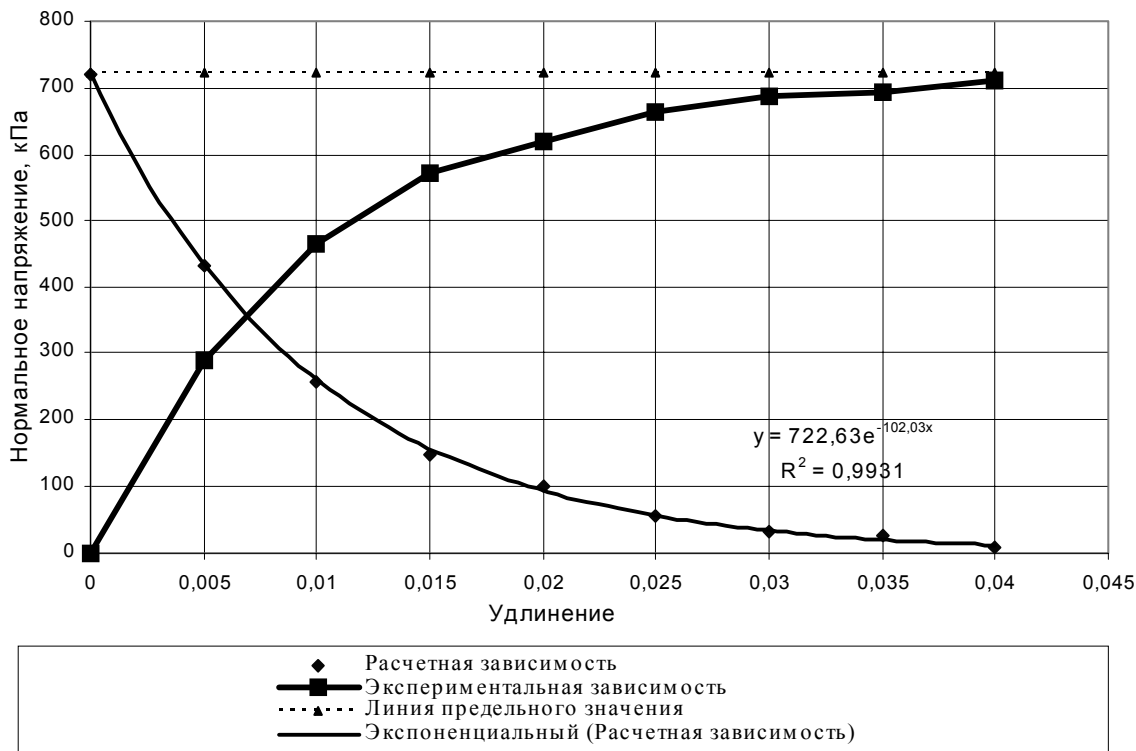


Рисунок 5. Зависимость нормального напряжения от удлинения при влажности высушиваемого образца 16% и температуре 75°С

ки полуфабриката из зависимој нормалног напорења од удлиненија при влажности изделия 16% и их температуре 75°С. Зависимости представљени на рис. 5.

Из рисунка 5 видно, што линија предельног (максимално возможно) напорења не зависи од увеличенија удлиненија,  $\sigma_{II} = 722,63$  кПа. По експоненцијалној зависимости  $A = 722,63$ ;  $B = 1,0203$ . Откуда, учитывая, што реологические свойства макаронного полуфабриката описываются формулой (3) получаем вязкость при продольном течении

$\eta_T = \frac{A}{\dot{\epsilon}} = \frac{722,63}{0,167} = 4327$  кПа·с и модуль упругости при линейной деформации  $E = B \cdot \eta_T \cdot \dot{\epsilon} = 1,0203 \cdot 4327 \cdot 0,167 = 737,2$  кПа. Полученные значения вязкости и модуля упругости позволяет достаточно полно охарактеризовать реологические свойства макаронных полуфабрикатов.

Таким образом, путем измерения линейной деформации при растяжении коллоидных капиллярно-пористых пищевых материалов можно определять их реологические характеристики. Результаты методики графоаналитического расчета реологических характеристик пищевых продуктов, основанной на экспериментальном исследовании структурно-механических свойств макаронных полуфабрикатов при растяжении, могут быть использованы при контроле, управлении, совершенствовании и интенсификации технологических процессов пищевых производств, разработке научно-обоснованных методов расчета и создании принципиально нового оборудования.

Список использованной литературы:

**Список использованной литературы:**

1. Мачихин Ю.А., Мачихин С.А. Инженерная реология пищевых материалов. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. – 216 с.
2. Азаров Б.М., Хромеенков В.М. Автоматизированная система непрерывного съема и обработки данных капиллярной вискозиметрии // Хлебопекарная и кондитерская промышленность, 1996. №5. – С. 33-34.
3. Бронштейн Э.А., Бурлай Ю.В., Сухой Л.А. Экспериментальное определение упруго-пластических и прочностных характеристик хлеба // Хлебопекарная и кондитерская промышленность, 1975. №2. – С.10-11.
4. Назаров Н.И., Калинина М.А. Об улучшении структурно-механических свойств макаронного теста // Хлебопекарная и кондитерская промышленность, 1971. № 4. – С. 26-27.
5. Малышкина В.А., Попов В.П., Ханин В.П. Изменение реологических свойств макаронных изделий как фактор, влияющий на прохождение процесса их сушки // Вестник Оренбургск. гос. ун-та, 2005. №5. – С. 149-152.

05.06.06 г.