



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

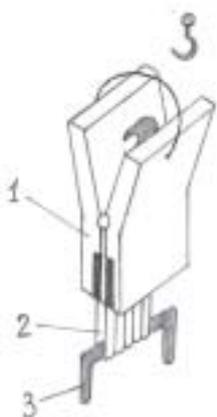


Рисунок 2. Схема насадки для растяжения: 1 – активный захват; 2 – образец макаронных полуфабрикатов; 3 – пассивный захват

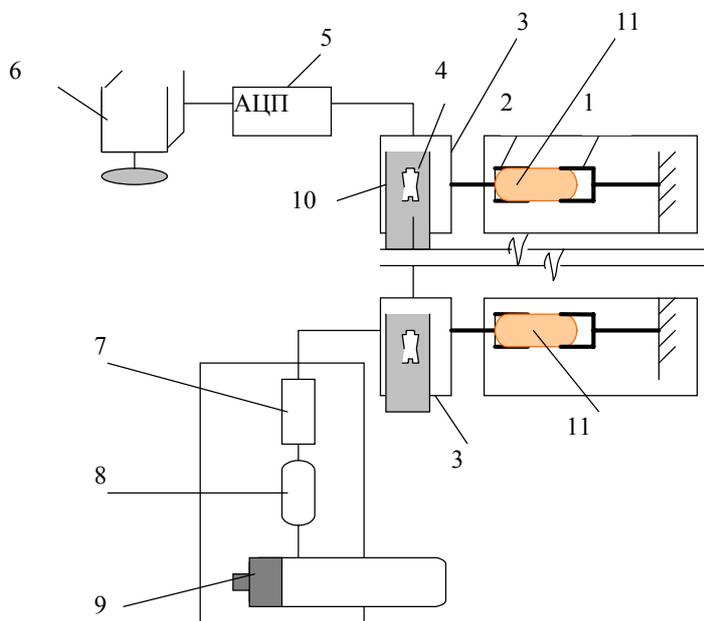


Рисунок 3. Устройство для испытания пищевых материалов на растяжение:

- 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 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.

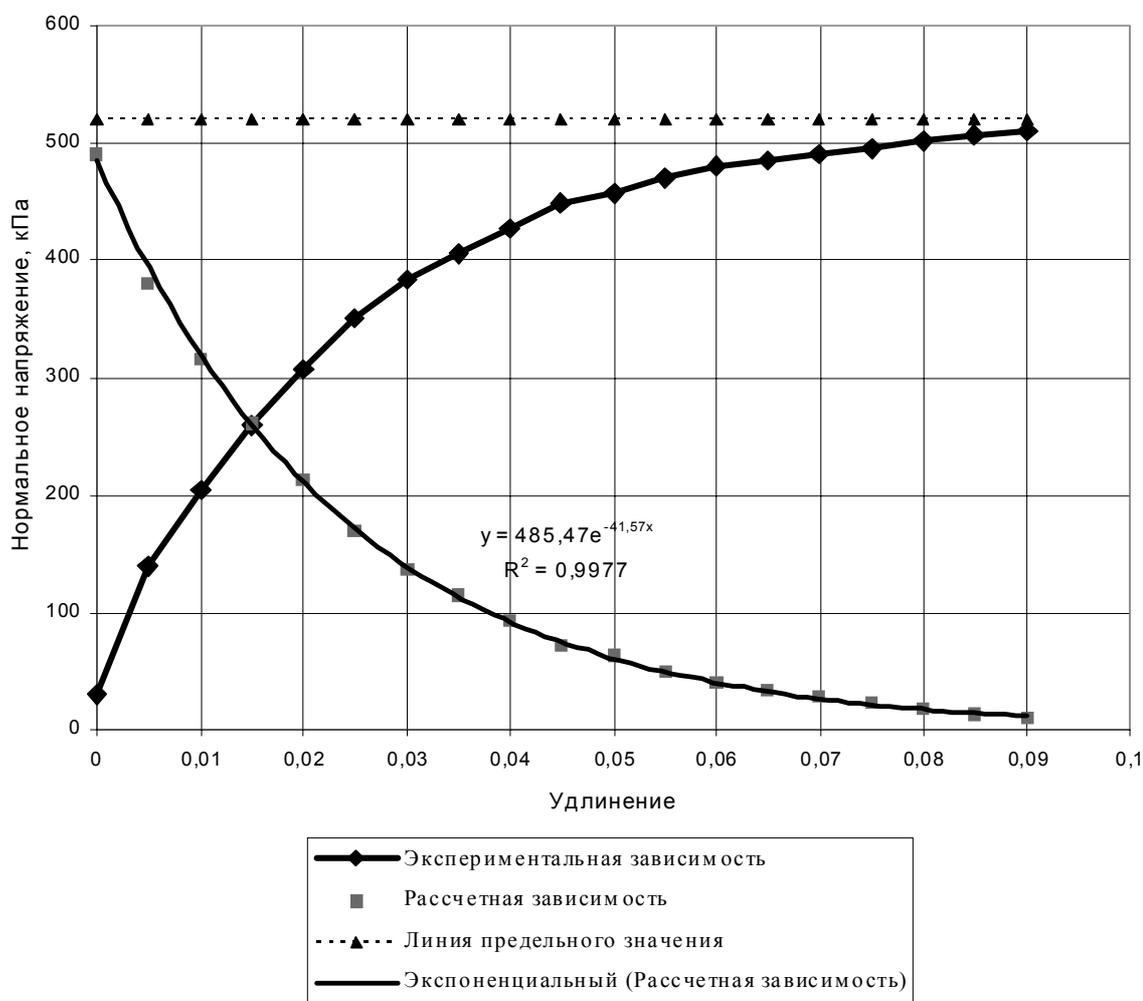


Рисунок 4. Зависимость нормального напряжения от удлинения при влажности высушиваемого образца 22% и температуре 75°С

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

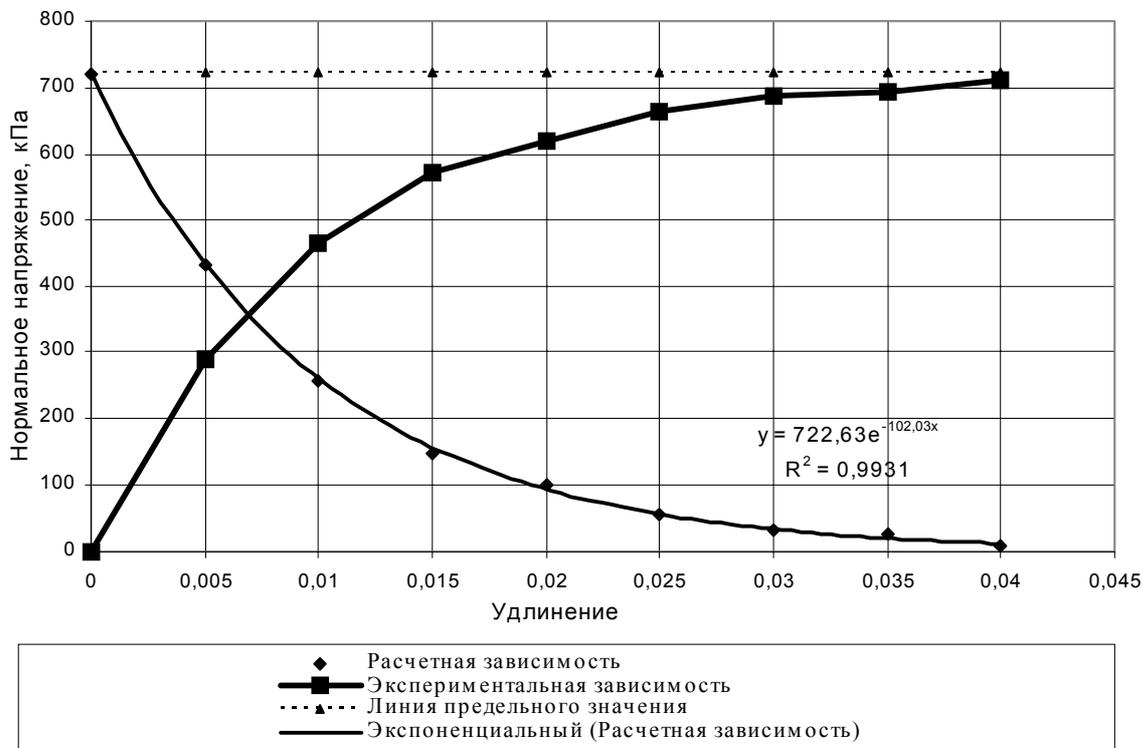


Рисунок 5. Зависимость нормального напряжения от удлинения при влажности высушиваемого образца 16% и температуре 75°С

