

после чего вращающийся смесительный шнек 10 производит завершающее смешивание компонентов до требуемого качества.

Для предотвращения рассыпания материала в процессе перемешивания, зоны смешивания и загрузки располагаются внутри цилиндрического корпуса 1, выполненного в виде кольцевой камеры. Готовая смесь выгружается через патрубок выгрузки 4, расположенный в боковой части цилиндрического корпуса 1. В предлагаемом смесителе можно управлять временем нахождения компонентов в аппарате с помощью изменения частоты вращения подвижного днища 2.

#### **Заключение**

Предложена оригинальная конструкция смесителя, использование которого позволит повысить качество смешивания сыпучих материалов.

#### **Литература**

1. Таршис, М. Ю. Теоретические основы и методология создания эффективных аппаратов с эластичными рабочими элементами для смешивания сыпучих материалов : дис. ... докт. техн. наук : 05.17.08 / М. Ю. Таршис. – Ярославль, 2009. – 354л.
2. Шебуков, А. В. Математическое моделирование режимов стадий процесса непрерывного приготовления дисперсных композиций: дис. ... канд. техн. наук : 05.18.12, 05.13.18 / А.В. Шебуков. – Кемерово, 2004. – 170л.
3. Смеситель сыпучих материалов: патент на изобретение №2378041 С1 Российская Федерация, МПК В01F7/00, В01F3/18, / А.И. Зайцев, А.Е. Лебедев, А.В. Дубровин, В.М. Готовцев ; заявитель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Ярославский государственный технический университет». – № 2008136627/15 ; заявл. 11.09.2008 ; опубл. 10.01.2010.
4. Смеситель сыпучих материалов : патент 16294 С2 Респ. Беларусь, МПК В 01F 7/08, В 01F 3/18 / И.Н. Шило, В.А. Агейчик, Н.Н. Романюк, А.В. Агейчик ; заявитель Белорус. гос. аграр. техн. ун-т.– № а 20100539 ; заявл. 09.04.2010 ; опубл. 30.08.2012 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці.–2012. – №4.– С.77.

УДК 532.135: [635.1/8:641.51]

## **ИССЛЕДОВАНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ МЯКОТИ ОВОЩЕЙ В УСЛОВИЯХ ОДНООСНОГО СЖАТИЯ**

*Заплетников И. Н., д.т.н., проф., Шеина А. В.  
(ДонНУЭТ им. Михаила Туган-Барановского, Украина)*

#### **Введение**

Для многих пищевых материалов характерной особенностью является способность проявлять свои свойства в зависимости от условий их деформирования. Такая неоднозначность поведения реальных продуктов приобретает особое значение при выполнении технологических процессов и предопределяет необходимость комплексного учета влияния геометрических, кинематических и динамических параметров оборудования на конкретные реологические свойства продукта.

Овощи – это продукция, которая довольно широко используется в пищевой промышленности и требует немалых затрат труда на переработку. При этом на качество конечного продукта значительное влияние оказывает взаимодействие продукции с рабочими органами технологического оборудования как на стадии предварительной обработки (сортировка, калибровка), так и при осуществлении основного технологического процесса (резание, прессование). Поэтому, знание реологических характеристик овощного сырья и особенностей реологического поведения продукта крайне важно для осуществления качественной переработки.

Исследованиям реологического поведения овощного сырья уделено внимание в работах многих ученых (Панин А. Д., Островский Э. В., Заводнов С. В. и др), однако эти данные не всегда согласуются и имеют разрозненный характер. Этот факт предопределил постановку задачи данной работы.

Цель статьи – анализ реологического поведения овощного сырья в условиях одноосного сжатия с постоянной скоростью деформации.

#### **Основная часть**

Под действием внешней нагрузки в образце продукта возникают деформации и напряжения, являющиеся мерой сил внутреннего взаимодействия между элементами тела [1].

Одним из наиболее распространенных способов изучения реологического поведения пищевых материалов является сжатие между двумя плоскопараллельными пластинами. Для изучения реологического поведения пищевых материалов используют современные испытательные комплексы Rheotest RN 4.1, Materials Testers (Stable Micro Systems), Spectro-Lab, либо другие экспериментальные установки, конструкция и принцип действия которых описаны в фундаментальной технической литературе [1-4].

Для изучения реологического поведения овощного сырья нами использовалась экспериментальная установка, представленная на рисунке 1.

## Секция 1: Переработка и хранение сельскохозяйственной продукции

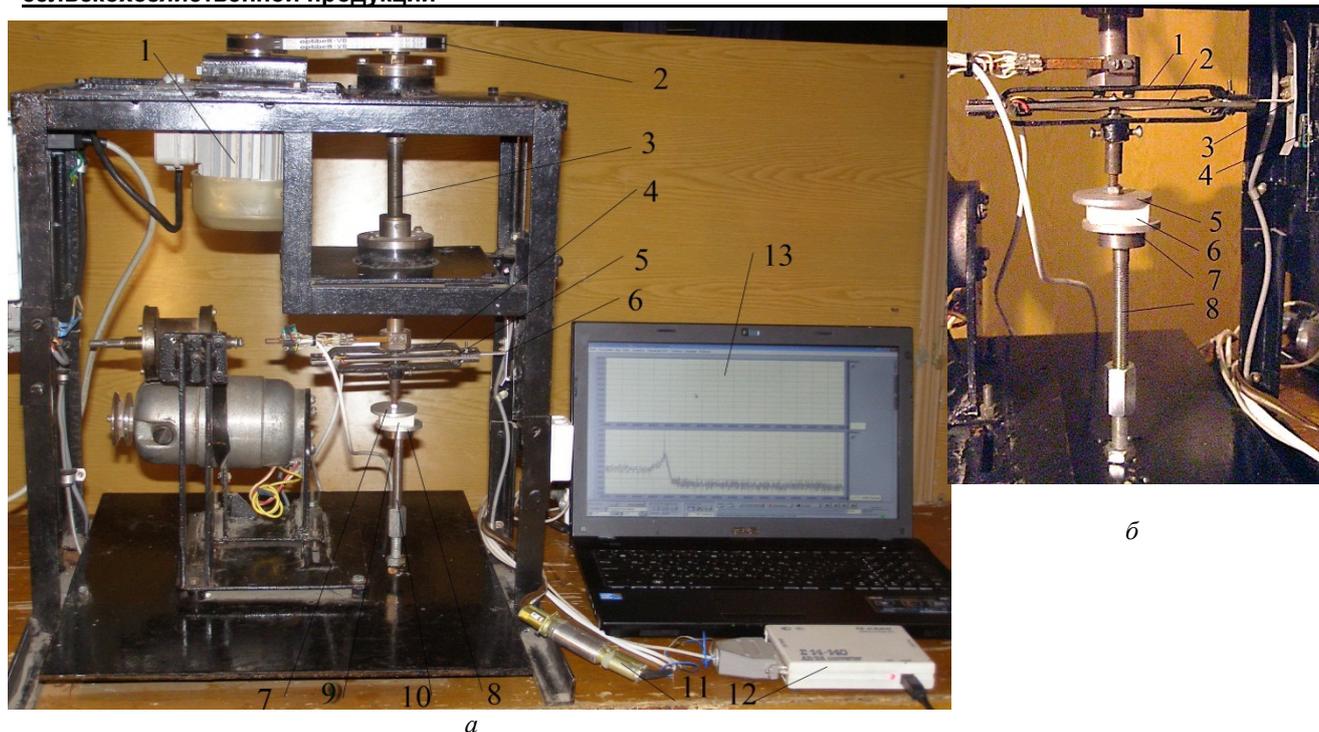


Рисунок 1– Экспериментальная установка для изучения реологического поведения пищевых продуктов: а) экспериментальная установка (1-электродвигатель, 2-ременная передача, 3-винтовая передача, 4-корпус, 5-тензобалка, 6-концевые выключатели, 7-подвижный поршень, 8-пластина -опора, 9-образец продукта, 10-винт, 11-усилитель, 12-АЦП, 13-ПК); б) узел сжатия (1-корпус, 2- тензобалка, 3-рычаг, 4 – нижний концевой выключатель, 5,7- плоскопараллельные пластины, 6 – образец продукта,8-винт)

Основными элементами установки являются два металлических диска, горизонтальные поверхности которых расположены параллельно друг другу. Один из дисков (нижний) представляет собой опорный столик, на котором размещается исследуемый продукт. Столик установлен стационарно и регулируется по высоте при помощи резьбы и комплекта гаек. Второй диск (верхний) выполнен в виде поршня с металлическим наконечником, при помощи которого осуществляется сжатие образца продукта. Поршень перемещается в вертикальной плоскости и приводится в движение при помощи реверсивного электродвигателя, ременной и винтовой передач. Ход поршня задается двумя концевыми выключателями, размещенными на раме. Так, при достижении поршнем крайнего нижнего положения, прикрепленный к корпусу рычаг воздействует на контакт нижнего концевой выключателя и электродвигатель отключается. Движение поршня вверх возобновляется после включения соответствующего переключателя на пульте управления, закрепленном на раме экспериментальной установки. Верхний концевой выключатель, соответственно, ограничивает движение поршня вверх, тем самым обеспечивая безопасность работы с установкой.

На вертикальном валу (рисунок 1,б) в корпусе закреплена металлическая пластина с размещенными на ней тензорезисторами – тензобалка. В процессе воздействия поршня на продукт тензобалка изгибается штоком, что приводит к изменению сигнала, подаваемого чувствительными элементами. Считывание сигнала осуществляется при помощи аналого-цифрового преобразователя Е14-140. Для усиления сигнала, подаваемого тензорезисторами используется усилитель. Предварительно усиленный сигнал подается на АЦП, после чего обрабатывается при помощи программного обеспечения LGraph и выводится на монитор персонального компьютера в виде осциллограмм исследуемого процесса в режиме реального времени.

На горизонтальный столик (нижняя пластина) помещался образец продукта площадью поперечного сечения  $0,004 \text{ м}^2$  и высотой 15мм. Опорный столик предварительно регулировался по высоте таким образом, чтобы при достижении поршнем крайнего нижнего положения, задаваемого концевым выключателем, образец продукта деформировался на заданную величину. Необходимая скорость перемещения поршня обеспечивалась подбором винтов винтовой передачи и шкивов ременной передачи, конструктивное исполнение которой позволяло свободно регулировать натяжение ремня. При движении поршня вниз осуществлялось сжатие продукта до фиксации момента полного разрушения образца, после чего электродвигатель отключался и поршень оставался в крайнем нижнем положении.

Исследования проводились для ряда овощного сырья, которое условно можно отнести к материалам, обладающим сплошностью среды, т.е. не имеющим существенных структурных изменений в сечении (при исследованиях с овощей предварительно снималась кожура, отдельные овощи, отобранные для исследований в соответствии с ДСТУ имели слабо развитые семена в своей структуре).

Анализ осциллограмм позволил построить кривые кинетики деформации исследуемых овощей при

нагружении до разрушения (достижения предела прочности), при этом скорость нагружения, а так же геометрические параметры образца продукта оставались постоянными.

Результаты исследований позволяют нам подтвердить принадлежность овощного сырья к вязкоупругим материалам, описываемым моделью Максвелла.

Реологическое уравнение Максвелла имеет вид:

$$\frac{1}{E} \dot{\sigma} + \frac{1}{\eta} \sigma = \dot{\epsilon} \quad (1)$$

где E - модуль упругости,

$\eta$  - вязкость,

$\sigma$  - напряжение,

$\dot{\epsilon}$  - скорость деформации,

$\dot{\sigma}$  - скорость нагружения.

Механический вариант тела Максвелла представляет собой последовательно соединенные элементы Гука и Ньютона. Моделью упругого твердого тела Гука является пружина, тело Ньютона представляет собой механическую модель вязкой жидкости и обозначается демпфером.

Тело Максвелла ведёт себя как упругое или вязкое в зависимости от отношения времени релаксации материала к длительности эксперимента. Итак, если под действием мгновенного усилия пружина растягивается, а затем сразу нагрузка снята, то поршень не успевает двигаться и система ведёт себя как упругое тело. Однако, с другой стороны, если поддерживать растяжение пружины, постоянным, она постепенно релаксирует, перемещая поршень вверх, и система ведёт себя как ньютоновская жидкость.

Большинство растительных материалов представляют собой ткани, образованные пространственной волокнистой системой, в полостях которой содержатся жидкости или газы. Модель вязкоупругого тела может быть представлена как конгломерат, состоящий из твердого (упругого) и жидкого или газообразного вещества, заполняющего промежутки между твердыми элементами. При деформировании волокна такого материала воздействуют на жидкую или газообразную среду, заставляя ее перемещаться в менее напряженные участки. В соответствии с законами гидродинамики сопротивление среды при таком перемещении зависит от скорости ее перемещения [5].

Кривая кинетики деформации вязкоупругого материала при нагружении разделяется на две зоны: зона нагружения и зона разгрузки. Период нагружения характеризуется ростом напряжения в продукте с течением времени. При снятии нагрузки в некоторый момент времени t имеет место упругое последствие. Упругие свойства материала восстанавливаются полностью в течение некоторого промежутка времени, называемого периодом релаксации напряжения, при условии, что сжимающее напряжение не превышает предел текучести, либо восстанавливаются частично, при превышении предела текучести прилагаемой нагрузкой, вследствие чего в материале развиваются необратимые деформации (вязкое и пластичное течение материала).

Для вязко-упругих негуковских твердых тел, к которым относятся выбранные для анализа овощи, характерны пять этапов реологического поведения:

- развитие мгновенной упругой деформации. Этот этап соответствует начальному периоду нагружения. Скорость распространения мгновенной упругой деформации очень велика, поэтому время образования этой деформации принято считать равным нулю.
- развитие замедленной упругой деформации. Этот этап обусловлен дальнейшим уплотнением слоев продукта, контактирующих с подвижной пластиной.
- развитие пластической деформации, обусловленное достижением предела текучести материала. Этап, характерный для начала разрушения структуры продукта.
- течение материала с наименьшей пластической вязкостью, сопровождающееся лавинообразным разрушением структуры.
- этап, характерный для ньютоновского течения с постоянной вязкостью предельно разрушенной структуры.

На рисунке 2 приведены кривые кинетики деформации мякоти некоторых образцов овощного сырья при постоянной скорости нагружения до величины относительной деформации свыше 40%. Как видно, реологическое поведение мякоти реальной овощной продукции соответствует классической кривой течения твердообразных систем [1], повторяя все перечисленные этапы. Отметим, что в зависимости от вида сырья кривые течения имеют несколько отличающуюся динамику, поскольку возникновение тех или иных деформаций в продукте обусловлено его структурой и рядом физико-механических свойств, однако, в целом, соответствуют классической теории. Так, для более хрупких кабачков предел прочности наступит раньше, чем для картофеля или моркови, при этом разрушение структуры образцов кабачков происходит более стремительно. То же можно отметить для баклажан. Структура баклажан более мягкая и пористая, чем у картофеля, и, казалось бы, упругие свойства продукта должны проявляться в большей степени, однако уже незначительное сжатие мякоти (10%) приводит к разрушениям и развитию необратимых деформаций.

При анализе кривых кинетики деформации было отмечено, что в зависимости от степени нагружения образца продукта, реологические свойства материала проявляются с характерными отличиями.

На рисунке 3 приведены кривые релаксации мякоти овощного сырья на примере моркови в зависимости от величины относительной деформации. При нагружении образца до величины относительной деформации 15% наблюдается полное восстановление структуры продукта за счет действия упругих сил, при

## Секция 1: Переработка и хранение сельскохозяйственной продукции

этом период релаксации составляет не более 10 секунд. При увеличении нагрузки и, соответственно, степени деформирования образца, в продукте наблюдается развитие пластической деформации и течение продукта, сопровождающееся дальнейшим лавинообразным разрушением структуры. Деформирование образца на величину свыше 20% приводит к развитию необратимых деформаций и частичной релаксации напряжения после прекращения нагружения.

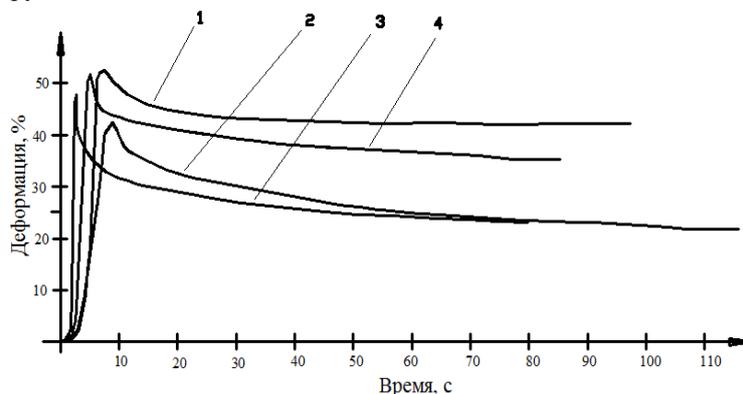


Рисунок 2 – Кривые кинетики деформации овощей при одноосном сжатии:  
1 - картофель, 2 – морковь, 3 – кабачок, 4 – баклажан

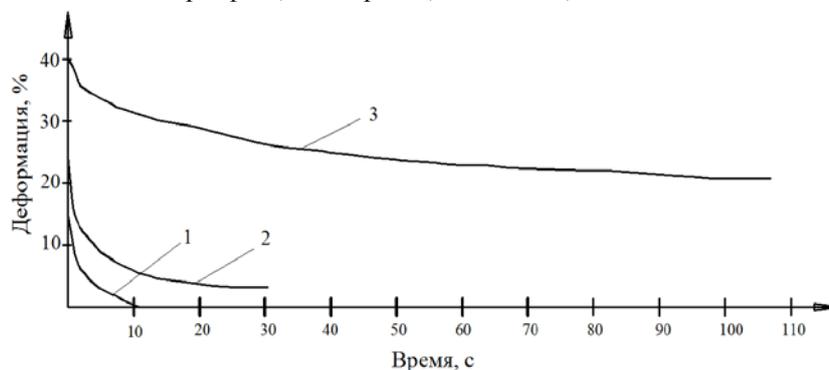


Рисунок 3 – Релаксация напряжения мякоти моркови

### Заключение

Овощи относятся к твердообразным вязкоупругим материалам, реологическое поведение которых описывается моделью Максвелла. Кривые кинетики деформации мякоти овощей соответствуют классической теории о течении твердообразных вязкоупругих материалов, что доказано экспериментально. Продолжительность периода релаксации напряжений в продукте зависит от степени нагружения. Для ряда исследуемых овощей сжатию образца на величину свыше 10-15% приводит к развитию необратимых деформаций и дальнейшему разрушению структуры.

Перспективой дальнейших исследований является изучение влияния скорости деформирования на реологическое поведение мякоти овощного сырья при одноосном сжатии.

### Литература

1. Реометрия пищевого сырья и продуктов: Справочник/ Ю, А. Мачихин. – М.: Агропромиздат.– 1990. – 271 с.
2. Мачихин Ю. А., Мачихин С. А. Инженерная реология пищевых материалов. – М.: Легкая и пищевая пром-ть. – 1981.-216 с.
3. Кузнецов О. А., Волошин Е. В., Сагитов Р. Ф. Реология пищевых масс: Учебное пособие.-Оренбург: ГОУ ОГУ, 2005. – 106 с.
4. Николаев Б.А. Измерение структурно-механических свойств пищевых продуктов. М.Экономика,1964,-224 с.
5. Резник Н.Е. Теория резания лезвием и основы расчета режущих аппаратов. М.: Машиностроение, 1975.- 311с.

УДК 664.08

## УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

Шило И.Н., д.т.н., проф.; Романюк Н.Н., к.т.н., доц.; Агейчик В.А., к.т.н., доц. (БГАТУ, Минск),  
Смирнов И.Г., к.с.-х.н. (Всероссийский научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства  
Российской академии сельскохозяйственных наук)

### Введение

В настоящее время во многих отраслях народного хозяйства возникает необходимость получения смесей с высокими процентными соотношениями компонентов (1:500 и более). В пищевой промышленности увеличивается ассортимент сухих пищевых концентратов (витаминизированные смеси, сухие напитки и т.п.),