

Развитие представлений о деформационно-прочностных свойствах мякоти картофельных клубней

Валерий Г. Жуков¹ z-v-gr@mail.ru

Николай Д. Лукин¹ vniik@arrisp.ru

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт крахмалопродуктов – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М.Горбатова» РАН, ул. Некрасова, 11, Красково, 140051, Россия

Аннотация. На основе публикаций последних лет развиваются представления о деформационно-прочностных свойствах мякоти клубней картофеля. Исследование построено на анализе экспериментальных данных по испытаниям на сжатие цилиндрических образцов, вырезанных из мякоти картофельных клубней. Эксперименты проводились с учетом релаксационных свойств мякоти клубней. Диаграммы разрушения цилиндрических образцов путем одноосного сжатия выявили ряд особенностей, которые позволили сформировать представление о деформационно-прочностных свойствах картофельной мякоти с учетом степени ее вялости. Дополнительную информацию дают эксперименты с промежуточными разгрузками, которые начинают с величины напряжения $\sigma > 0,1$ МПа. Сравнение их графиков с начальной частью диаграммы показывает отсутствие неупругих деформаций в пределах напряжений в образцах от нуля до значений, близких 0,1 МПа. Напряжения $\sigma > 0,1$ МПа приводят к образованию неупругих деформаций в образцах, что заставляет отказаться в формуле Гука от использования понятия модуля Юнга, описывающего лишь упругое деформирование. Вместо него предложено ввести более общее понятие модуля жесткости. Исходя из анализа разработанных ранее критериев жесткости клубней различной вялости выбраны два основных, что связано с простотой получения данных для их расчета и чувствительностью к изменению вялости клубней.

Ключевые слова: картофель; клубень; физико-механические свойства; образцы; напряжения; деформации; диаграмма сжатия; модуль жесткости; критерии жесткости

The development of the notions of deformation and strength properties of potato tubers flesh

Valery G. Zhukov¹ z-v-gr@mail.ru

Nikolay D. Lukin¹ vniik@arrisp.ru

¹ All-Russian research Institute for starch products – the branch of Federal research center of food systems of V.M. Gorbato RAS, Nekrasova str., 11, Kraskovo, 140051, Russia

Abstract. On the basis of publications in recent years, ideas about the deformation and strength properties of the flesh of potato tubers are being developed. The study is based on the analysis of experimental data on compression tests of cylindrical specimens cut from the flesh of potato tubers. The experiments were carried out taking into account the relaxation properties of the flesh. The diagrams of destruction of cylindrical samples by uniaxial compression revealed a number of features that made it possible to form an idea of the deformation-strength properties of potato pulp, taking into account the degree of its lethargy. Additional information is provided by experiments with intermediate unloadings, which start with $\sigma > 0.1$ MPa. A comparison of their graphs with the initial part of the diagram shows the absence of inelastic deformations within the limits of stresses in the samples from zero to values close to 0.1 MPa. Stresses $\sigma > 0.1$ MPa lead to the formation of inelastic deformations in the samples, which makes it necessary in the Hooke formula to abandon the use of the concept of a Young's modulus, which describes only elastic deformation. Instead of the Young's modulus, it was proposed to introduce a more general concept of the modulus of rigidity. Based on the analysis of the previously developed criteria for the rigidity of tubers of various flaccidity, two main ones were selected, which is associated with the simplicity of obtaining data for their calculation and sensitivity to changes in the flaccidity of tubers.

Keywords: potato; tuber; physical and mechanical properties; samples; stresses; strains; compression diagram; modulus of rigidity; rigidity criteria

Введение

Механическая переработка растительного сырья происходит с большими затратами энергии. В полной мере это относится к переработке картофеля, существенная часть урожая которого идет на истирание для последующего

получения крахмала [1]. Поэтому параметры деформационно-механических характеристик картофеля должны входить в расчетные формулы разрабатываемых технологических машин и аппаратов и рациональных процессов,

Для цитирования

Жуков В.Г., Лукин Н.Д., Развитие представлений о деформационно-прочностных свойствах мякоти картофельных клубней // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 247–253. doi:10.20914/2310-1202-2018-4-247-253

For citation

Zhukov V.G., Lukin N.D. The development of the notions of deformation and strength properties of potato tubers flesh. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 247–253. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-4-247-253

определяющих их работу. Вместе с тем отсутствуют устоявшиеся представления о функциональной связи между деформационными и прочностными характеристиками картофельных клубней, количественном влиянии на изменения деформационных свойств в процессе хранения картофеля, формализации этого влияния в виде количественного параметра, который мог бы входить в расчетные формулы.

Важные и объективные результаты по механическим характеристикам получают в испытаниях при одноосном сжатии цилиндрических образцов, что в РФ и за рубежом является обязательным для конструкционных материалов [2]. Такие же исследования выполнялись и для растительных материалов, включая картофель [3,4]. Современные испытания обычно проводят в машинах с автоматическим непрерывным нагружением и, как правило, со свежими, жесткими клубнями. В результате получают диаграммы, малочувствительные к побочным, но важным для механической переработки картофеля эффектам. К ним относятся релаксация напряжений в процессе испытаний [5], смена характера деформаций по мере их роста, отражающаяся в S-образном виде диаграмм [6], и другие особенности, обусловленные влиянием вялости клубней, усиливающейся в процессе хранения [7]. Вследствие новизны работ в них дается фрагментарная и разобщенная трактовка обнаруживаемых эффектов.

Цель работы – обобщение выявленных новых особенностей и развитие представлений о деформационно-прочностных свойствах мягкости картофельных клубней, различающейся по степени жесткости.

Материалы и методы

Исследования деформационно-прочностных свойств проводили в условиях одноосного сжатия цилиндрических образцов картофеля, имевших начальную длину l_0 и площадь круглого поперечного сечения A_0 . При этом фиксировали изменение их длины l в виде укорочения (абсолютная деформация) $\Delta l = l - l_0$ (мм) в зависимости от усилия сжатия F (Н). Полученные экспериментальные величины пересчитывали в напряжение сжатия образца в виде осевой силы, отнесенной к его начальной площади $\sigma = F / A_0$ (МПа), и соответствующую ему относительную деформацию ε (в дальнейшем – деформация) в виде отношения величины абсолютной деформации к начальной длине образца $\varepsilon = \Delta l / l_0$ (б/р).

Лабораторная установка позволяла определять усилие сжатия F образца по величине прогиба свободного конца консольно-закрепленной упругой пластины. Изменение нагрузки обеспечивали через механическую винтовую передачу механическим поворотом маховика, позволяющую делать промежуточные остановки в нагружении и полные промежуточные разгрузки со следующими за ними догрузками. Усилие сжатия постепенно увеличивали с периодическими 30-секундными перерывами на время основной релаксации напряжений в образце. Величину усилия сжатия F образца определяли по тарифовочному графику без учета той части общего усилия, которое требовалось на прогиб пластины. Величину прогиба упругого элемента фиксировали с помощью индикатора часового типа. Деформацию образца измеряли по изменению расстояния между сжимающими его подвижными основаниями.

Испытанию подвергали цилиндрические образцы диаметром $d_0 = 14$ мм. Величина диаметра обеспечивала возможность разрушения образца на лабораторной установке. Высоту l_0 образца экспериментально подбирали наибольшей при условии обеспечения нагружения без его перекосов и изгиба, т. е. без потери устойчивости. Она составила 25 мм.

Результаты и обсуждение

С самого начала было выявлено падение сжимающего усилия во время остановки нагружения для проведения промежуточных замеров величин усилия и деформации. Это показало наличие релаксационного эффекта, свойственного мягкости образцов картофельных клубней при ее деформации, что заставляет исследователей указывать в аналогичных испытаниях скорость непрерывного нагружения в автоматическом режиме [8]. В этой связи дальнейшие замеры проводились с 30-секундными остановками при последовательном нагружении образцов. Во время остановок скорость падения усилия снижалась от интенсивной до малосущественной. При 30-секундной остановке величина падения усилия составляла 4–12% [5]. Также была отмечена особенность формы диаграмм в начале нагружения. От нуля и до напряжения, близкого к $\sigma \approx 0,1$ МПа, происходит существенный рост деформации образца при незначительном росте нагрузки, т. е. образец проявляет высокую податливость (рисунок 1).

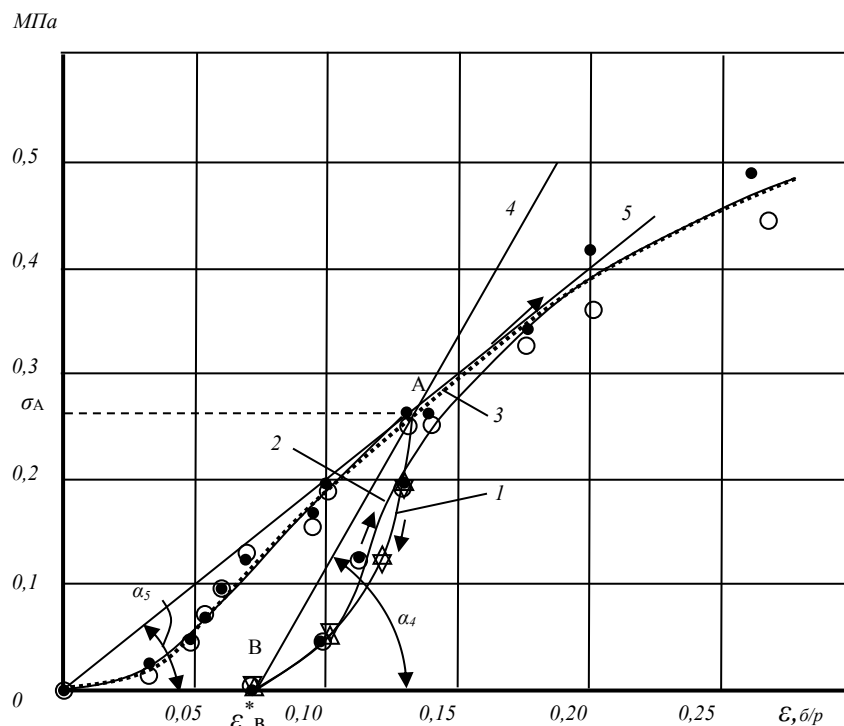


Рисунок 1. Характерная диаграмма сжатия образца клубня с однократным промежуточным разгрузением и последующим догрузением: точки – стадия нагружения; окружности – после релаксации в стадии нагружения; треугольники вершиной вниз – стадия разгрузки; треугольники вершиной вверх – стадия догрузки; 1 и 2 – промежуточная разгрузка и повторное нагружение соответственно; 3 – пунктирная S-образная диаграмма без учета промежуточной разгрузки; 4 – прямая, соответствующая промежуточной разгрузке ВА; 5 – прямая ОА, соответствующая начальной деформации образца; σ_A – напряжение, с которого началась промежуточная разгрузка; ε_B – остаточная деформация после промежуточной разгрузки; α_4 – угол наклона прямой 4; α_5 – угол наклона прямой 5

Figure 1. Characteristic diagram of the compression sample of the tuber with a single unloading and subsequent re-loading: points – the stage of loading; circles – after relaxation, under loading; the triangles top down – stage of unloading; the triangles top-up – re-loading stage; 1 and 2 – intermediate unloading and re-loading, respectively; 3 – dotted S-shaped figure without taking into account intermediate unloading; 4 – straightened line corresponding to the intermediate unloading VA; 5 – straightened line OA corresponding to the initial deformation of the sample; σ_A tension, which began with intermediate unloading; ε_B is the residual deformation after intermediate unloading; α_4 – the angle of slope of the straight 4; α_5 is the slope of the straight 5

При этом к моменту достижения напряжений $\sigma \approx 0,1$ МПа отмечается явное увеличение деформации образцов с увеличением степени вялости их мякоти [6]. При дальнейшем увеличении напряжения ($\sigma > 0,1$ МПа) угол наклона диаграммы к оси абсцисс, характеризующий жесткость образцов, существенно возрастал. Таким образом, напряжение $\sigma \approx 0,1$ МПа оказалось характерным для образцов из клубней различающейся вялости, и потому оно принято в качестве рубежного.

Криволинейность полной диаграммы, казавшаяся в начальных экспериментах со свежим картофелем незначительной и не всегда отчетливо проявлявшаяся при $\sigma > 0,1$ МПа, оказалась весьма важной для понимания характера деформаций в процессе нагружения образцов. Дальнейшие эксперименты показали, что ее

вид, близкий к прямолинейному, даже включая начальный участок нагружения, свойственен для жестких (свежих) картофельных клубней. Для вялых клубней форма диаграммы отчетливо становилась S-образной [6], и ее кривизна увеличивалась с усилением вялости клубней.

Особенностью деформационных свойств образцов оказалось сочетание больших деформаций к моменту разрушения, близких к 0,3, и само разрушение по плоскости, наклоненной под углом 45° к оси образца. Такие большие деформации характерны для пластичных материалов, а такое разрушение указывает на разрушение по плоскости действия наибольших касательных напряжений, т. е. как хрупкое. К хрупким конструкционным материалам условно относят те, которые имеют малые остаточные деформации до 6%. Эта парадоксальность объясняется клеточным строением растительных материалов,

имеющих большое количество внутриклеточной жидкости [6]. Вслед за зоной упругой деформации, завершающейся в области значений напряжений $\sigma \approx 0,1$ МПа, начинается разрушение отдельных клеток, которое постепенно перерастает в преимущественное слияние смежных разрушенных клеток, что приводит к интенсивному росту деформаций. Происходит постепенное разрушение первоначальной структуры материала, что нехарактерно для пластичных материалов, сохраняющих свою структуру до полного разрушения образца. А хрупкий вид разрушения свидетельствует о том, что целостность формы образцов с конечной малосущественной бочкообразностью сохраняется оставшимися пока неразрушенными клетками вплоть до разрыва, т. е. как у хрупкого материала.

Анализ диаграмм указывает на то, что клеточная структура материала образца, вырезанного из клубня картофеля, разрушается, сохраняя подобно пластичному материалу большую остаточную деформацию, близкую к значению 0,3, но является хрупкой, поскольку разрушение происходит по плоскости, наклоненной под углом 45° к продольной оси образца. В этой связи диаграмма показывает гибридный деформационно-прочностной тип разрушения клеточной структуры мякоти клубня.

S-образную диаграмму исследователи получали и ранее [9]. Однако в обсуждениях формально ее не отмечали и не увязывали с особенностями происходящих внутренних процессов на уровне клеточного строения мякоти. То же относится к известному факту появления значительных остаточных, т. е. неупругих, деформаций при снятии нагрузки задолго до разрушения образца. Однако оба этих фактора влияют на возможность использования формулы Гука в традиционном виде входящих в нее обозначений в качестве расчетной формулы для растительных, т. е. имеющих клеточную структуру, материалов:

$$\sigma = E\varepsilon, \quad (1)$$

где E – коэффициент, имеющий название модуля продольной упругости, или модуля Юнга.

Так, в публикациях по исследованию механических свойств растительных материалов коэффициент, обозначаемый в формуле Гука (1) буквой E , определяют по тангенсу угла наклона прямолинейной или условно спрямленной (идеализированной) диаграммы, соединяющей начало координат с точкой разрушения образца, и называют модулем Юнга [4, 10, 11]. При этом не учитывается существование в зонах его определения неупругих деформаций, хотя

по своему физическому назначению он должен отражать поведение материала только в упругой области. Наличие остаточных деформаций в зонах определения модуля для растительных материалов не вызывало вопросов к обоснованности использования термина «модуль Юнга».

Остаточные деформации выявлялись, начиная с напряжения $\sigma \approx 0,1$ МПа. Для фиксации неупругих деформаций в процессе нагружения образцов эксперименты выполнялись в зоне $\sigma > 0,1$ МПа с промежуточными разгрузками и следующими сразу за ними повторными догрузками [6]. В течение нагружения производились от одной до трех таких промежуточных разгрузок и догрузок. После каждой разгрузки отмечалось наличие существенной остаточной, т. е. неупругой, деформации. На рисунке 1 она обозначена символом $\varepsilon^*_{\text{в}}$. Значит, модуль, определяемый по тангенсу угла наклона прямолинейной диаграммы или ее идеализированных прямых на участках, где в образце возникают напряжения $\sigma > 0,1$ МПа, не может называться модулем Юнга и должен носить иное название, например, деформационно-прочностной модуль, или модуль жесткости, и другое обозначение, например, Z . Тогда формула, аналогичная формуле Гука (1), будет иметь вид:

$$\sigma = Z\varepsilon, \quad (2)$$

где Z – выполняет ту же функцию коэффициента пропорциональности, что и E .

Кривизна линии промежуточной разгрузки напоминает кривизну диаграммы в начале нагружения. Однако прямая ВА (прямая 4 на рис. 1), относящаяся к периоду промежуточной разгрузки и соответствующая только упругим деформациям, имеет больший угол наклона α_4 к оси абсцисс, чем прямая ОА, относящаяся к начальному этапу нагружения и наклоненная под углом α_5 (прямая 5 на рис. 1). Значит, в начальный период нагружения к упругой деформации добавляется неупругая, увеличивая общую деформацию и уменьшая α_5 . Это наблюдение практически подтверждает введенный как гипотеза в работе [8] аналогичный вывод.

Для образцов, вырезанных из мякоти клубней различающейся вялости, модуль Z окажется различным. Это требует учета зоны диаграммы, для которой он был получен при его использовании непосредственно в общих формулах расчета оборудования механической переработки картофеля. Нужны дополнительные показатели, учитывающие и степень вялости клубня, и зону, для которой показатель вычисляется по (2).

Кривизна диаграммы промежуточных разгрузок свидетельствует о сложном механизме деформации материала, а практическое совпадение кривых разгрузки и следующего непосредственно за ней нагружения указывает на отсутствие в этих процессах неупругой составляющей деформации. Значит, деформация образца в промежуточных разгрузках является упругой, хотя ее диаграмма имеет криволинейный вид, аналогичный начальной и примыкающей

к ней зоне диаграммы нагружения. Это подтверждает наличие и рост упругих деформаций даже в зонах начального появления и роста неупругой деформации. Промежуточные разгрузки показали наличие остаточных деформаций в образце, что обязывает ввести в линейную зависимость Гука модуль жесткости Z вместо модуля Юнга, используемого для характеристики только упругих свойств материалов.

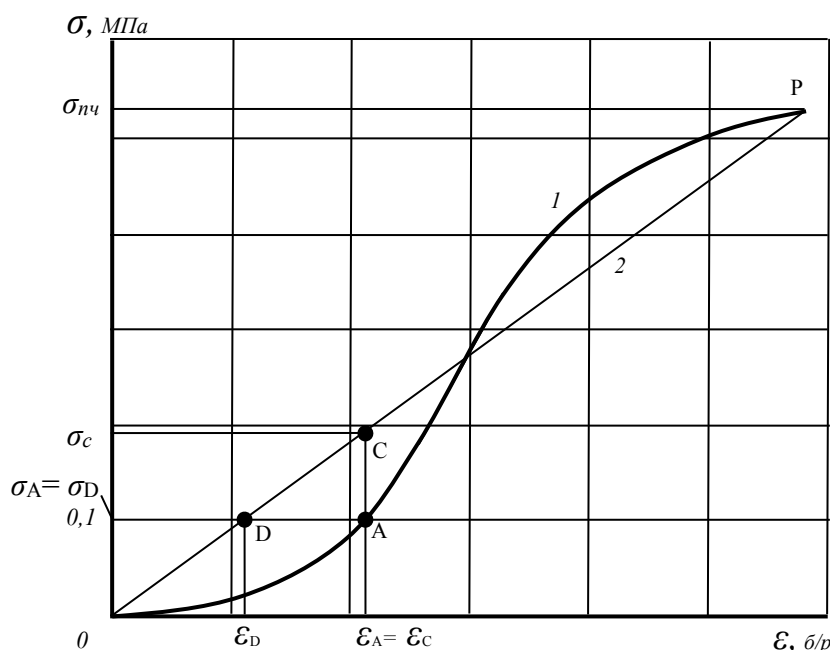


Рисунок 2. Диаграммы образцов: линия 1 – S-образная диаграмма исследуемого вялого клубня; линия 2 – прямолинейная идеализированная диаграмма, характерная для жесткого клубня; ε_A – деформация образца из вялого клубня; σ_C и ε_C , ε_D – напряжение и деформации по идеализированной диаграмме образца, соответствующего жесткому клубню; $\sigma_A = \sigma_D = 0,1$ МПа – напряжение в вялом и идеализированном жестком образцах соответственно; $\sigma_{пч}$ – предел прочности материала образца; P – точка разрушения образца

Figure 2. Chart samples: line 1 – S shaped graph of the studied sluggish tuber; line 2 idealized straight-line diagram, typical for a hard tuber; ε_A – deformation of a sample from a sluggish tuber; σ_C and ε_C , ε_D – stress and deformation in the idealized diagram of the sample corresponding to the hard tuber; $\sigma_A = \sigma_D = 0.1$ МПа, the stress in idealized sluggish and hard samples, respectively; $\sigma_{пч}$ – tensile strength of the sample material; P – the point of destruction of the sample

Выявление в S-образном виде диаграммы зон, отражающих при нагружении характерные особенности постепенных разрушений в образце, позволило сформировать критерии оценки степени жесткости клубней (рисунок 2) [7]. Они сформированы таким образом, что пределы их изменения лежат в диапазоне от нуля до единицы и вычисляются по экспериментальным табличным данным или значениям, составляющим критерии показателей на диаграмме разрушения. Их назначение состоит в том, что они должны входить в виде множителя в формулы расчета оборудования механической переработки, например, терки для истирания картофеля в крахмалопаточном производстве. Они дают

возможность учитывать для каждой зоны диаграммы вялость клубней в формулах механического расчета оборудования. Каждый критерий отражает определенную особенность диаграммы и свойств мякоти картофеля и может быть получен в виде числа, предназначенного для включения его в расчетные формулы технологического оборудования и осуществляемых в нем процессов.

Из рассмотренных в [7] трех типов критериев к наиболее универсальным и информативным следует отнести k_1 и k_2 , что объясняется простотой получения данных для их расчета и чувствительностью к изменению вялости клубней.

Критерий k_1 основан на различии деформации образцов в начальной стадии нагружения, когда напряжение в них достигает $\sigma = 0,1$ МПа (рисунок 2):

$$k_1 = \frac{\varepsilon_D}{\varepsilon_A} \quad (3)$$

Критерий по (3) представляет собой отношение деформации ε_D по идеализированной прямолинейной диаграмме к деформации ε_A образца по диаграмме исследуемого вялого клубня.

Критерий k_2 основан на различии напряжений по диаграмме образца из вялого клубня и идеализированного жесткого в тот момент, когда в исследуемом вялом образце напряжение достигает $\sigma_B = 0,1$ МПа:

$$k_2 = \frac{\sigma_A}{\sigma_C} \quad (4)$$

Критерий представляет собой отношение напряжения $\sigma_A = 0,1$ МПа в исследуемом образце к напряжению σ_C по идеализированной прямолинейной диаграмме при той же деформации. Оба напряжения соответствуют равной деформации $\varepsilon_A = \varepsilon_C$.

Чем меньше соотношения (3) и (4), тем более вялым был исследуемый клубень. Параметры в числителях и знаменателях формул (3) и (4) определяются непосредственно из экспериментально полученных диаграмм (рисунок 2) или по таблицам, как это принято для конструкционных материалов. Эти параметры интенсивно меняются с ростом вялости картофельных клубней и отражают начальный этап деформирования, в значительной мере определяющий эффективность работы любого механического измельчителя. Их универсальность и информативность связаны, например, с тем, что знание величин k_1 или k_2 , выражающих количественно степень жесткости картофеля, позволит заранее назначать величину необходимого перемещения

истирающего инструмента или давления в загрузочной массе, подводимой к истирающему инструменту. Без этого учета измельчение может оказаться замедленным и неполным, работа оборудования неэффективной при значительной деформации вялого клубня до начала интенсивного разрушения его клеток.

Заключение

Релаксационный эффект свидетельствует о сложном механизме деформаций, и S-образный вид диаграммы раскрывает их внутренний механизм с учетом клеточного строения мякоти картофельного клубня.

Практическое совпадение кривых промежуточной разгрузки и следующего непосредственно за ней догружения экспериментально подтверждает отсутствие в этом процессе неупругих деформаций в материале образца.

Сравнение углов наклона линейных приближений кривой начального участка диаграммы с кривой промежуточной разгрузки, начинающейся с напряжений $\sigma > 0,1$ МПа, экспериментально подтверждает наличие в образце при таких напряжениях неупругих деформаций. Это заставляет отказаться в формуле Гука от использования понятия модуля Юнга, описывающего лишь упругое деформирование. Вместо него предложено ввести более общее понятие модуля жесткости, который должен использоваться в расчетных формулах процессов и оборудования.

Анализ зон S-образной диаграммы, отражающих при нагружении характерные особенности постепенных упругих деформаций и разрушений в образце, позволяет в разработанных ранее критериях оценки степени жесткости клубней выделить наиболее универсальные и информативные, к ним следует отнести k_1 и k_2 , что объясняется простотой получения данных для их расчета и чувствительностью к изменению вялости клубней.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Андреев Н.Р., Лукин Д.Н. Производство крахмала и крахмалопродуктов для импортозамещения // Пищевая промышленность. 2014. № 12. С. 34–36.
- 2 Beer F.P., Johnston E.R., Dewolf Jr.J.T., Mazurek D.F. Mechanics of Materials. Sixth edition. New York: McGraw Hill, 2012. 758 p.
- 3 Abd el-Maksoud M.A., Gamea G.R., Abd el-Gawad A.M. Rheological constants of the four elements burgers model for potato tubers affected by various fixed loads under different storage conditions // Misr journal of agricultural engineering. 2009. V.26. № 1. P. 359–384.
- 4 Саврасова Н.Р. Результаты экспериментального определения модуля упругости и предела прочности мякоти клубня картофеля // Вестник ЧГАА. 2012. Т. 60. С. 80–82.

- 5 Жуков В.Г., Андреев Н.Р., Безруков Д.В. Релаксационный эффект при испытании картофельных образцов сжатием // Достижения науки и техники АПК. 2016. Т. 30. № 11. С. 121–122.
- 6 Жуков В.Г., Андреев Н.Р., Лукин Д.Н. Механизм деформации сжатием цилиндрического образца из картофельного клубня // Достижения науки и техники АПК. 2017. Т. 31. № 6. С. 80–83.
- 7 Жуков В.Г., Андреев Н.Р., Бакулин В.А. и др. Три типа количественных показателей степени жесткости картофельного клубня // Достижения науки и техники АПК. 2017. Т. 31. № 10. С. 85–88.
- 8 Bentini, M., Caprara, C., Martelli, R. Physico-mechanical properties of potato tubers during cold storage // Biosystems Engineering. 2009. V. 104. P. 25–32.

9 Miruna L. Mechanical properties affecting slicing performance of potatoes. Winnipeg, Manitoba: Food Science Department University, 1999. 143 p.

10 Blahovec J., Vlckova M., Paprstein F. Static low-level bruising in pears // Research in Agricultural Engineering. 2002. V.48. № 2. P. 41–46.

11 Bentini M., Caprara C., Martelli R. Evaluation of the physical-mechanical properties of potatoes during conservation // Innovation Technology to Empower Safety, Health and Welfare in Agriculture and Agro-food Systems: International Conference. Ragusa, 2008, 7 p.

REFERENCES

1 Andreev N.R., Lukin D.N. Production of starch and starch products for import substitution. *Pishchevaya promyshlennost* [Food industry]. 2014. no. 12. pp. 34–36. (in Russian)

2 Beer F.P., Johnston E.R., Dewolf Jr.J.T., Mazurek D.F. Mechanics of Materials. Sixth edition. New York, McGraw Hill, 2012. 758 p.

3 Abd el-Maksoud M.A., Gamea G.R., Abd el-Gawad A.M. Rheological constants of the four elements burgers model for potato tubers affected by various fixed loads under different storage conditions. *Misr journal of agricultural engineering*. 2009. vol. 26. no. 1. pp. 359–384.

4 Savrasova N.R. The results of the experimental determination of the modulus of elasticity and strength of the pulp of potato tuber. *Vestnik ChGA* [Bulletin of the ChSAA]. 2012. vol. 60. pp. 80–82. (in Russian)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Валерий Г. Жуков д.т.н., профессор, Всероссийский научно-исследовательский институт крахмалопродуктов – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М.Горбатова» РАН, ул. Некрасова, 11, Красково, 140051, Россия, z-v-gr@mail.ru

Николай Д. Лукин д.т.н., профессор, Всероссийский научно-исследовательский институт крахмалопродуктов – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М.Горбатова» РАН, ул. Некрасова, 11, Красково, 140051, Россия, vniik@arrisp.ru

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Валерий Г. Жуков написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

Николай Д. Лукин обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провёл эксперимент, выполнил расчёты

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 02.10.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 14.11.2018

5 Zhukov V.G., Andreev N.R., Bezrukov D.V. Relaxation effect when testing potato samples with compression. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* [Achievements of Science and Technology of AICis]. 2016. vol. 30. no. 11. pp.121–122. (in Russian)

6 Zhukov V.G., Andreev N.R., Lukin D.N. The mechanism of compression deformation of a cylindrical sample of potato tuber. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* [Achievements of Science and Technology of AICis]. 2017. vol. 31. no. 6. pp.80–83. (in Russian)

7 Zhukov V.G., Andreev N.R., Bakulin V.A. et al. Three types of quantitative indicators of the degree of rigidity of potato tuber. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* [Achievements of Science and Technology of AICis]. 2017. vol. 31. no. 10. pp. 85–88. (in Russian)

8 Bentini, M., Caprara, C., Martelli, R. Physico-mechanical properties of potato tubers during cold storage. *Biosystems Engineering*. 2009. vol.104. pp. 25–32.

9 Miruna L. Mechanical properties affecting slicing performance of potatoes. Winnipeg, Manitoba, Food Science Department University, 1999. 143 p.

10 Blahovec J., Vlckova M., Paprstein F. Static low-level bruising in pears. *Research in Agricultural Engineering*. 2002. vol. 48. no. 2. pp. 41–46.

11 Bentini M., Caprara C., Martelli R. Evaluation of the physical-mechanical properties of potatoes during conservation. *Innovation Technology to Empower Safety, Health and Welfare in Agriculture and Agro-food Systems: International Conference*. Ragusa, 2008, 7 p.

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Valery G. Zhukov Dr. Sci. (Engin.), professor, All-Russian research Institute for starch products – the branch Federal research center of food systems of V.M. Gorbato RAS, Nekrasova, 11, Kraskovo, 140051, Russia, z-v-gr@mail.ru

Nikolay D. Lukin Dr. Sci. (Engin.), professor, All-Russian research Institute for starch products – the branch Federal research center of food systems of V.M. Gorbato RAS, Nekrasova, 11, Kraskovo, 140051, Russia, vniik@arrisp.ru

CONTRIBUTION

Valery G. Zhukov wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

Nikolay D. Lukin review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 10.2.2018

ACCEPTED 11.14.2018