

Вестник БарГУ

Научно-практический журнал

Издаётся с марта 2013 года
Выходит 2 раза в год

№ 1 (11), май, 2022

Серия «Технические науки»

Учредитель: учреждение образования
«Барановичский государственный университет».

Адрес редакции:
ул. Войкова, 21, 225404 г. Барановичи.
Телефон: +375 (163) 64 34 77.
E-mail: vestnikbargu@gmail.com .

Подписные индексы: 00999 — для индивидуальных подписчиков; 009992 — для организаций.
Свидетельство о регистрации средств массовой информации № 1533 от 30.07.2012, выданное Министерством информации Республики Беларусь.

В соответствии с приказом Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь от 21 января 2015 г. № 16 научно-практический журнал «Вестник БарГУ» серия «Технические науки» включён в Перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований по техническим наукам.

Научно-практический журнал «Вестник БарГУ» включён в РИНЦ (Российский индекс научного цитирования), лицензионный договор № 06-01/2016.

Выходит на русском, белорусском и английском языках.
Распространяется на территории Республики Беларусь.

Заведующий редакционно-издательской группой А. Ю. Сидоренко
Технический редактор Л. Н. Щербук
Компьютерная вёрстка С. М. Глушак
Корректор Н. Н. Колодко

Подписано в печать 04.05.2022. Формат 60 × 84 1/8.
Бумага ксероксная. Печать цифровая.
Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. 13,25. Уч.-изд. л. 8,60.
Тираж 100 экз. Заказ . Цена свободная.

Полиграфическое исполнение: Гродненское областное унитарное полиграфическое предприятие «Слонимская типография».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий № 1/203 от 07.03.2014, № 2 от 25.02.2014. Адрес: ул. Хлопина, 16, 231800 г. Слоним, Гродненская обл.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Кочурко В. И. (гл. ред. журн.), доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик Белорусской инженерной академии, академик Международной академии технического образования, академик Международной академии наук педагогического образования, академик Академии экономических наук Украины, заслуженный работник образования Республики Беларусь, профессор кафедры технического обеспечения сельскохозяйственного производства и агрономии (учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи, Республика Беларусь).

Климук В. В. (зам. гл. ред. журн.), кандидат экономических наук, доцент, первый проректор (учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи, Республика Беларусь).

Алифанов А. В. (гл. ред. сер.), лауреат Государственной премии Республики Беларусь в области науки и техники, доктор технических наук, профессор (учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи, Республика Беларусь).

Горбач Ю. Е. (отв. секретарь сер.) (учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи, Республика Беларусь).

Зубрицкая Л. С. (ред. текстов на англ. яз.) (учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи, Республика Беларусь).

Богданович И. А. (отв. за направление «Машиностроение и машиноведение»), кандидат технических наук, доцент (учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи, Республика Беларусь); **Дубень И. В.** (отв. за направление «Процессы и машины агроинженерных систем»), кандидат технических наук, доцент (учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи, Республика Беларусь).

Анискович Г. И., кандидат технических наук, доцент (учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь); **Белый А. В.**, академик Национальной академии наук Беларуси, доктор технических наук, профессор (государственное научное учреждение «Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси», Минск, Республика Беларусь); **Девойно О. Г.**, доктор технических наук, профессор, заведующий научно-исследовательской инновационной лабораторией плазменных и лазерных технологий (филиал Белорусского национального технического университета «Научно-исследовательская часть», Минск, Республика Беларусь); **Дремук В. А.**, кандидат технических наук, доцент (учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи, Республика Беларусь); **Жигалов А. Н.**, доктор технических наук, доцент (учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи, Республика Беларусь); **Калугин Ю. К.**, кандидат технических наук, доцент (учреждение образования «Гродненский государственный университет имени Янки Купалы», Гродно, Республика Беларусь); **Карташевич А. Н.**, доктор технических наук, профессор (учреждение образования «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия», Горки, Республика Беларусь); **Клочков А. В.**, доктор технических наук, профессор (учреждение образования «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия», Горки, Республика Беларусь); **Клубович В. В.**, академик Национальной академии наук Беларуси, доктор технических наук, профессор (государственное научное учреждение «Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси», Минск, Республика Беларусь); **Сиваченко Л. А.**, доктор технических наук, профессор (межгосударственное образовательное учреждение высшего образования «Белорусско-Российский университет», Могилев, Республика Беларусь); **Томило В. А.**, доктор технических наук, профессор (Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь); **Шелег В. К.**, член-корреспондент Национальной академии наук Беларуси, доктор технических наук, профессор (Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь).

Promoter: Educational Institution
"Baranovichi State University".

Editorial address:
21 Voykova Str., 225404 Baranovichi.
Phone: +375 (163) 64 34 77.
E-mail: vestnikbargu@gmail.com .

Subscription indices: 00999 — for individual subscribers;
009992 — for companies.
The certificate of the registration of mass media № 1533
of 30.07.2012 issued by the Ministry of Information
of Belarus.

In compliance with the order of the Higher Attestation
Commission of the Republic of Belarus from January 21,
2015 № 16 the scientific and practical journal "BarSU
Herald. Engineering Series" is included into the List of
scientific publications of the Republic of Belarus for
publishing the results of theses research on engineering
sciences (mechanical engineering and machines,
processes and machines of agroengineering systems).

Scientific-and-practical journal "BarSU Herald"
is included into RSCI (Russian Science Citation Index),
license agreement № 06-01/2016.

Issued in Russian, Belorussian and English. The journal is
distributed on the territory of the Republic of Belarus.

Managing editor A. Y. Sidorenko
Technical editor L. N. Scherbuk
Desktop Publishing S. M. Glushak
Proofreader N. N. Kolodko

Signed print 04.05.2022. Format 60 × 84 1/8. Paper xerox.
Digital printing. Headset Times. Conv. pr. s. l. 13,25.
Acc.-pub. s. l. 8,60. Circulation of 100 copies.
Order . Free price.

Printing performance: Grodno Regional Printing Unitary
Enterprise "Slonim printing establishment". The state
registration certificate of the publisher, manufacturer and
publications distributor № 1/203 of 07.03.2014, № 2
of 25.02.2014. Address: 16 Hlyupin St., 231800 Slonim,
Grodno region.

EDITORIAL BOARD

Kochurko V. I. (*editor-in-chief*), DSc in Agriculture, Professor, Academician of the Belarusian Academy of Engineering, Academician of the International Academy of Technical Education, academician of the International Academy of Pedagogical Education, Academician of the Academy of Economic Sciences of Ukraine, Honored Worker of Education of the Republic of Belarus, Professor of Department of Technical Support of Agricultural Production Processes and Agronomic Sciences (Educational Institution "Baranovichi State University", Baranovichi, the Republic of Belarus).

Klimuk V. V. (*deputy editor-in-chief*), PhD in Economics, Associate Professor, first vice-rector (Educational Institution "Baranovichi State University", Baranovichi, the Republic of Belarus).

Alifanov A. V. (*the series editor-in-chief*), Laureate of the State Prize of the Republic of Belarus in the field of science and technology, DSc in Technical Sciences, Professor (Educational Institution "Baranovichi State University", Baranovichi, the Republic of Belarus).

Gorbach Yu. E. (*responsible for the topic area "Engineering Sciences"*) (Educational Institution "Baranovichi State University", Baranovichi, the Republic of Belarus).

Zubritskaya L. S. (*ed. of texts in English*) (Educational Institution "Baranovichi State University", Baranovichi, the Republic of Belarus).

Bogdanovich I. A. (*responsible for the area "Mechanical Engineering and Machine Science"*), PhD in Technical Sciences, Associate Professor (Educational Institution "Baranovichi State University", Baranovichi, the Republic of Belarus); **Duben I. V.** (*responsible for the area "Processes and Machines of Agro engineering Systems"*), PhD in Technical Sciences, Associate Professor (Educational Institution "Baranovichi State University", Baranovichi, the Republic of Belarus).

Aniskovich G. I., PhD in Technical Sciences, Associate Professor (Educational Institution "Belarusian State Agrarian Technical University", Minsk, the Republic of Belarus); **Bely A. V.**, Academician of the National Academy of Sciences of Belarus, DSc in Technical Sciences, Professor (State Scientific Institution "Institute of Physics and Technology of the National Academy of Sciences of Belarus", Minsk, the Republic of Belarus); **Devoino O. G.**, DSc in Technical Sciences, Professor, Head of the Innovative Research Laboratory of Plasma and Laser Technologies (branch of the Belarusian National Technical University "Research Unit", Minsk, the Republic of Belarus); **Dremuk V. A.**, PhD in Technical Sciences, Associate Professor (Educational Institution "Baranovichi State University", Baranovichi, the Republic of Belarus); **Zhigalov A. N.**, DSc in Technical Sciences, Associate Professor (Educational Institution "Baranovichi State University", Baranovichi, the Republic of Belarus); **Kalugin Yu. K.**, PhD in Technical Sciences, Associate Professor (Educational Institution "Yanka Kupala Grodno State University", Grodno, the Republic of Belarus); **Kartashevich A. N.**, DSc in Technical Sciences, Professor (Educational Institution "Belarusian State of the Orders of the October Revolution and Labor Red Banner Agricultural Academy", Gorki, the Republic of Belarus); **Klochov A. V.**, DSc in Technical Sciences, Professor (Educational Institution "Belarusian State of the Orders of the October Revolution and Labor Red Banner Agricultural Academy", Gorki, the Republic of Belarus); **Klubovich V. V.**, Academician of the National Academy of Sciences of Belarus, DSc in Technical Sciences, Professor (State Scientific Institution "Institute of Physics and Technology of the National Academy of Sciences of Belarus", Minsk, the Republic of Belarus); **Sivachenko L. A.**, DSc in Technical Sciences, Professor (Interstate Educational Institution of Higher Education "Belarusian-Russian University", Mogilev, the Republic of Belarus); **Tomilo V. A.**, DSc in Technical Sciences, Professor (Belarusian National Technical University, Minsk, the Republic of Belarus); **Sheleg V. K.**, A. M. of the National Academy of Sciences of Belarus, DSc in Technical Sciences, Professor (Belarusian National Technical University, Minsk, the Republic of Belarus).

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

Громыко П. Н., Хатетовский С. Н., Макацария Д. Ю., Макаревич А. С. Обеспечение поступательного движения сателлита при работе эксцентриковой передачи с параллельным расположением входного и выходного валов

Жигалов А. Н., Горавский И. А. Экспериментальные исследования микроструктуры быстрорежущей стали P6M5, упрочненной аэродинамическим звуковым методом

Малеронко В. В., Кушнеров А. В., Алифанов А. В. Влияние магнитно-импульсной обработки на фазовые переходы в поверхностном слое режущего осевого инструмента из инструментальной стали

Налиуко А. І., Русан С. І., Сівачэнка Л. А., Сівачэнка Т. Л. Методика набліжаного аналізу сілавога ўзаемадзеяння ў здрабняльных машынах са шчоткападобнымі звёнамі

Пивоварчик А. А., Гавриленя А. К., Корольков А. С. Исследование эксплуатационных показателей синтетических моторных масел, используемых в бензиновых двигателях легковых автомобилей

Фадин Ю. М., Шеметова О. М. Использование пневмосмесительного оборудования для производства сухих строительных смесей

Шматов А. А. Характер упрочнения твердых сплавов при термогидрохимической обработке

ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ

Бондарев С. Н. Определение потребной мощности на процесс машинного доения коровы

Китун А. В., Передня В. И., Крупенин П. Ю., Филатов В. Г., Дубень И. В. Исследование процесса измельчения кормов плоскостным роторным измельчающим аппаратом вертикального типа

Китун А. В., Передня В. И., Крупенин П. Ю., Филатов В. Г., Дубень И. В. Оптимизация выбора оборудования линии первичной обработки молока

Китун А. В., Швед И. М. Определение параметров участка размыва осадка в навозохранилище направленным действием струи жидкого навоза

Пузевич К. Л., Коцуба В. И., Пузевич В. В., Филиппов А. И. Агрегаты для посева сельскохозяйственных культур под мульчирующую пленку

Шаршунов В. А., Курзенков С. В., Левчук В. А., Цайц М. В. Исследование характера деформации и разрушения семенной коробочки льна

MACHINE BUILDING AND ENGINEERING SCIENCE

4 Gromyko P. N., Khatetovsky S. N., Makatsaryia D. Yu., Makarevich A. S. Provision of the satellite translational motion during the operation of eccentric transmission with parallel arrangement of input and output shafts

14 Jigalov A. N., Goravskii I. A. Experimental investigations of the high-speed steel P6M5 microstructure hardened by the aerodynamic sound method

24 Maleronok V. V., Kushnerou A. V., Alifanov A. V. The effect of magnetic pulse processing on phase transitions in the surface layer of a cutting axial tool of tool steel

31 Naliuko O. I., Rusan S. I., Sivachenko L. A., Sivachenko T. L. Method of approximate analysis of force interaction in grinding machines with brush-like links

37 Pivovarchyk A. A., Haurylenia A. K., Korolkov A. S. Research of performance of synthetic motor oils indicators used in gasoline engines of passenger cars

43 Fadin Yu. M., Shemetova O. M. The use of pneumatic mixing equipment for the dry building mixes production

48 Shmatov A. A. The nature of hard alloys hardening during thermo-hydrochemical treatment

PROCESSES AND MACHINES OF AGROENGINEERING SYSTEMS

55 Bondarev S. N. Determination of the required power for the machine cow milking process

65 Kitun A. V., Perednya V. I., Krupenin P. Y., Filatov V. G., Duben I. V. Research of grinding feed process by a planar vertical rotary grinder

74 Kitun A. V., Perednya V. I., Krupenin P. Y., Filatov V. G., Duben I. V. Optimization of the equipment choice for a primary milk processing line

81 Kitun A. V., Shved I. M. Determination of the sediment erosion area parameters in the manure storage by the directed action of a liquid manure jet

88 Puzevich K. L., Kotsuba V. I., Puzevich V. V., Filippov A. I. Aggregates for sowing agricultural crops under mulching film

96 Sharshunov V. A., Kurzenkov S. V., Levchuk V. A., Tsaits M. V. Investigation of the nature of flax seedpods deformation and destruction

УДК 621.928:633.521

В. А. Шаршунов¹, доктор технических наук, профессор, член-корреспондент Национальной академии наук Беларуси,
С. В. Курзенков², кандидат технических наук, доцент,
В. А. Левчук², М. В. Цайц²

¹Учреждение образования «Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий», пр-т Шмидта, 3, 212027 Могилев, Республика Беларусь, 8 (0222) 64 82 27

²Учреждение образования «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия», ул. Мичурина, 5, 213410 Горки, Республика Беларусь, +375 (25) 906 37 38, baa_bgd@tut.by

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРА ДЕФОРМАЦИИ И РАЗРУШЕНИЯ СЕМЕННОЙ КОРОБОЧКИ ЛЬНА

В статье представлен теоретический анализ деформации семенной коробочки льна при ее поперечном сжатии с учетом возникающих упругих деформаций в ее оболочке. Получены аналитические зависимости для определения величин проекций деформаций точек, лежащих на поверхности семенной коробочки льна при ее сжатии.

Разработана методика, а также проведены экспериментальные исследования по определению величины упругой деформации семенной коробочки льна и характера ее разрушения. Получены данные, определяющие взаимосвязь величины сжатия семенной коробочки льна и значений силы сжатия при этом, для различных диаметров семенных коробочек льна. Определены значения зависимости механического напряжения, возникающего в семенной коробочке от ее относительной деформации. Получены расчетные значения величин модуля Юнга для семенных коробочек различного диаметра. Установлены значения предельной величины сжатия семенной коробочки, определяющей момент ее разрушения.

Ключевые слова: лен; семенная коробочка; деформация; упругое напряжение; модуль Юнга; разрушение семенной коробочки; поперечное сжатие.

Рис. 3. Табл. 1. Библиогр.: 8 назв.

V. A. Sharshunov¹, DSc in Technical Sciences, Professor,
Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Belarus,
S. V. Kurzenkov², PhD in Technical Sciences, Associate Professor,
V. A. Levchuk², M. V. Tsaits²

¹Educational Institution "Belarusian State University of Food and Chemical Technologies", 3 Schmidt Ave., 212027 Mogilev, the Republic of Belarus, 8 (0222) 64 82 27

²Educational Institution "Belarusian State Order of the October Revolution and the Red Banner of Labor Agricultural Academy", 5 Michurina Str., 213410 Gorki, the Republic of Belarus, +375 (25) 906 37 38, baa_bgd@tut.by

INVESTIGATION OF THE NATURE OF FLAX SEEDPODS DEFORMATION AND DESTRUCTION

The article presents a theoretical analysis of the deformation of the flax seedpod during its transverse compression, taking into account the resulting elastic deformations occurring in its shell. Analytical dependencies to determine the values of projections of points deformations lying on the surface of a flax seed pod during its compression were obtained.

A technique has been developed and experimental studies have been carried out to determine the magnitude of the elastic deformation of the flax seedpod, as well as the nature of its destruction. The data determining the relationship between the compression value of the flax seedpod and the values of the compression force at the same time, for various diameters of the flax seedpods were obtained. The values of the dependence of the mechanical stress arising in the seedpod on its relative deformation are determined. Calculated values of Young's modulus values for seedpods of various diameters have been obtained. The values of the limiting value of compression of the seedpod, determining the moment of its destruction are established.

Key words: flax; seed box; deformation; elastic stress; Young's modulus; destruction of the seedpod; transverse compression.

Fig. 3. Table 1. Ref.: 8 titles.

Введение. основополагающим технологическим процессом получения семян является процесс отделения семенной части урожая льна-долгунца от стеблей, который издавна осуществляется двумя принципиально различными способами: отрывом коробочек льна от стеблей (очес) или разрушением коробочек на стеблях (обмолот) с последующей сепарацией [1].

В разработанном в УО БГСХА обмолачивающем устройстве для линии первичной переработки льна Van Dommele или Depoortere процесс отделения семенной части от стеблей льна происходит за счет комбинированного (очесывающе-плющильного) воздействия эластичного рабочего органа [2—4]. В процессе плющения разработанным обмолачивающим устройством происходит поперечное сжатие семенных коробочек льна и их разрушение с выделением семян [5].

При моделировании деформации формы коробочки льна при ее сжатии между бичом и декой в процессе обмолота [5] было установлено, что деформация семенной коробочки льна происходит неравномерно, а величина поперечного сжатия не равна продольному расширению. Это связано с упругими свойствами семенной коробочки.

Таким образом, целью работы является определение проекций деформаций точек поверхности семенной коробочки льна при ее сжатии, а также изучение упругих свойств ее материала и характера разрушения.

Материалы и методы исследования. Проанализируем деформацию семенной коробочки льна при ее сжатии на основании изменения проекций вектора деформации. Для этого рассмотрим идеализированную модель, при которой, сжимая коробочку льна на величину Δ_{kz} вдоль вертикальной оси симметрии, ее поверхностные точки осуществляют переход на поверхность некоторого эллипсоида. Будем считать, что такое смещение до разрыва (разрушения) коробочки происходит симметрично располагающихся на ее поверхности поперек вертикальной оси симметрии и при неизменной величине вектора деформации в любой ее точке, т. е.

$$|\vec{\Delta}_i| = \sqrt{\Delta_{xi}^2 + \Delta_{yi}^2 + \Delta_{zi}^2} = \text{const}. \quad (1)$$

Для того чтобы проанализировать пространственные деформации точек семенной коробочки льна при сжатии, представим ее в виде шара с центром в точке $O_k(0; 0; 0)$ и диаметром, равным d_k . Тогда уравнение такого шара примет следующий вид:

$$x^2 + y^2 + z^2 = \frac{d_k^2}{4}. \quad (2)$$

В точку O_k поместим и центр эллипсоида с полуосями: $d_k/2 + \Delta_{kx}/2$ — по оси O_kx ; $d_k/2 + \Delta_{ky}/2$ — по оси O_ky ; $d_k/2 - \Delta_{kz}/2$ по оси O_kz , который представляет собой геометрическую модель деформируемой коробочки. Математическое уравнение такой поверхности будет иметь следующий вид:

$$\frac{x^2}{\left(\frac{d_k + \Delta_{kx}}{2}\right)^2} + \frac{y^2}{\left(\frac{d_k + \Delta_{ky}}{2}\right)^2} + \frac{z^2}{\left(\frac{d_k - \Delta_{kz}}{2}\right)^2} = 1,$$

где Δ_{kx} , Δ_{ky} , Δ_{kz} — величины, характеризующие деформации формы шара в направлениях осей пространственной декартовой системы координат, м.

Ввиду того, что при сжатии семенная коробочка не ограничена с боков, то смещения поверхностных ее точек в направлениях осей O_kx и O_ky плоскости xO_ky на поверхность эллипсоида примем одинаковыми: $\Delta_{kx} = \Delta_{ky}$. При этом уравнение эллипсоида запишется в виде

$$\frac{x^2}{\left(\frac{d_k}{2} + \frac{\Delta_{kx}}{2}\right)^2} + \frac{y^2}{\left(\frac{d_k}{2} + \frac{\Delta_{ky}}{2}\right)^2} + \frac{z^2}{\left(\frac{d_k - \Delta_{kz}}{2}\right)^2} = 1. \quad (3)$$

Определим величину деформации семенной коробочки в некоторой точке $O(0; 0; d_k/2)$, в которой верхняя плоскость давит, смещаясь вдоль ее вертикальной оси на $\Delta_{kz}/2$ (рисунок 1).

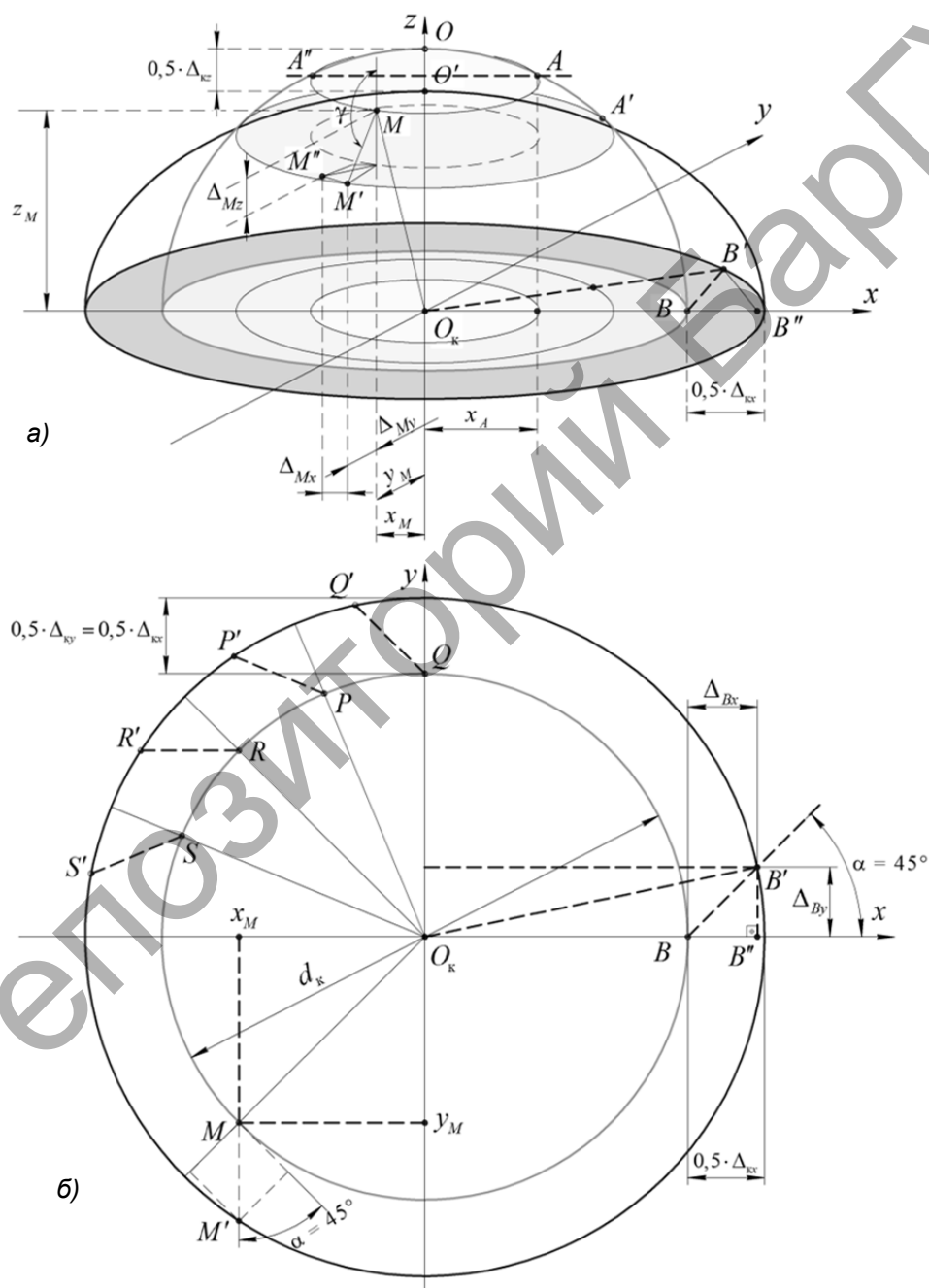


Рисунок 1. — Схема к определению проекций деформаций точек семенной коробочки льна при ее сжатии: а — общий вид деформации точек семенной коробочки льна при ее сжатии; б — вид сверху перехода поверхностных точек диаметрального поперечного сечения шара на его деформированную поверхность (эллипсоид)

При этом точка O переходит вертикально вниз на эту же величину $\Delta_{kz} / 2$ на поверхность эллипсоида. Значит точка O семенной коробочки деформируется в точку O' $(0; 0; \Delta_{kz} / 2)$, а вектором деформации является вектор $\overline{\Delta_o} = \overline{OO'}$ $(0; 0; \Delta_{kz} / 2)$ с длиной

$$|\overline{\Delta_o}| = |\overline{OO'}| = \sqrt{O^2 + O^2 + \left(\frac{\Delta_{kz}}{2}\right)^2} = \frac{\Delta_{kz}}{2}. \quad (4)$$

Определим проекции и вектора деформаций точек семенной коробочки, лежащих на ее поверхности в плоскости $xO_k y$ (см. рисунок 1). Можно заметить, что в данном случае это точки окружности $x^2 + y^2 = (d_k / 2)^2$, которые в плоскости $xO_k y$ переходят в точки сечения оболочки эллипсоида, который представляет собой окружность, заданную уравнением $x^2 + y^2 = \left(\frac{d_k + \Delta_{kx}}{2}\right)^2$. В направлении оси $O_k z$ эти точки перемещений не имеют, т. е. $\Delta_z = 0$.

Для определенности в качестве одной из таких точек можно взять точку B с координатами $(d_k / 2; 0; 0)$ на шаре, которая переходит на эллипсоид в точку B' $(\frac{d_k}{2} + \Delta_{Bx}; \Delta_{By}; 0)$,

где $\frac{\Delta_{Bx}}{2} = \frac{\Delta_{By}}{2}$. Тогда $\Delta_B = \overline{BB'}$ $(\Delta_{Bx}; \Delta_{Bx} - 0; 0) = (\Delta_{Bx}; \Delta_{Bx}; 0)$.

Тогда с учетом условий (1) и (4) величина вектора деформации в точке B

$$|\overline{\Delta_B}| = \sqrt{(\Delta_{Bx})^2 + (\Delta_{Bx})^2 + 0^2} = \Delta_{Bx} \sqrt{2}; \quad |\overline{\Delta_B}| = |\overline{\Delta_o}| \Rightarrow \Delta_{Bx} \sqrt{2} = \frac{\Delta_{kz}}{2} \Rightarrow \Delta_{Bx} = \Delta_{By} = \frac{\Delta_{kz}}{2\sqrt{2}};$$

$$\cos(\alpha) = \frac{\Delta_{Bx}}{|\overline{\Delta_B}|} = \frac{\Delta_{Bx}}{\Delta_{Bx} \sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \Rightarrow \angle \alpha = 45^\circ; \quad \cos(\beta) = \frac{\Delta_{Bx}}{|\overline{\Delta_B}|} = \frac{\Delta_{Bx}}{\Delta_{Bx} \sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \Rightarrow \angle \beta = 45^\circ;$$

$$\cos(\gamma) = \frac{0}{\Delta_{Bx} \sqrt{2}} = 0 \Rightarrow \angle \gamma = 90^\circ.$$

Можно сделать вывод, что в плоскости $xO_k y$ точки переходят в точки эллипсоида под углом 45° к радиусу точек недеформируемой поверхности (см. рисунок 1, а).

Из этой же схемы (см. рисунок 1, б) можно определить величину Δ_{kx} с точки зрения распространения деформирования. Для этого рассмотрим треугольник $O_k B' B''$. Он является прямоугольным с гипотенузой $O_k B'$ и катетами $B' B''$, $O_k B''$:

$$O_k B' = \frac{d_k + \Delta_{kx}}{2}; \quad B' B'' = \Delta_{Bx}; \quad O_k B'' = \frac{d_k}{2} + \Delta_{Bx}.$$

По теореме Пифагора

$$\left(\frac{d_k + \Delta_{kx}}{2}\right)^2 = \left(\frac{d_k}{2} + \Delta_{Bx}\right)^2 + \Delta_{Bx}^2.$$

Упростим данное выражение:

$$\Delta_{kx} = \frac{-2d_k + 2\sqrt{d_k^2 + 4\Delta_{Bx}(d_k + \Delta_{Bx})}}{2} = -d_k + \sqrt{d_k^2 + 4\Delta_{Bx}(d_k + \Delta_{Bx})}$$

или

$$\Delta_{kx} = -d_k + \sqrt{d_k^2 + \frac{4\Delta_{kz}}{2\sqrt{2}} \left(d_k + \frac{\Delta_{kz}}{2\sqrt{2}}\right)} = -d_k + \sqrt{d_k^2 + \sqrt{2}\Delta_{kz} \left(d_k + \frac{\Delta_{kz}}{2\sqrt{2}}\right)}.$$

Используем полученные результаты для описания проекций вектора деформаций $\overline{\Delta}_M$ в произвольной точке M , взятой на поверхности недеформированной семенной коробочки льна. Для определенности будем считать, что выбранная нами точка находится в первом октанте ($x_M > 0$; $y_M > 0$; $z_M > 0$), а ее координаты в декартовой пространственной системе, соответственно, равны x_M, y_M, z_M .

Нам известно, что все точки на шаре недеформированной поверхности с аппликатой z_M образуют окружность, которая в проекции на плоскость $xO_k y$ будет задаваться уравнением

$$x^2 + y^2 = \frac{d_k^2}{4} - z_M^2.$$

Тогда ордината точки M с ее абсциссой будет связана соотношением

$$y_M = \pm \sqrt{\frac{d_k^2}{4} - z_M^2 - x_M^2}.$$

В рассматриваемом случае формула (15) примет следующий вид:

$$y_M = \sqrt{\frac{d_k^2}{4} - z_M^2 - x_M^2}.$$

Предположим, что при деформации $\Delta_{kz} / 2$, которую коробочка испытывает в ее верхней точке O и нижней точке O_1 , лежащих на вертикальной оси ее симметрии, выбранная нами точка M переходит в точку M' на деформированную ее поверхность, т. е. эллипсоид, заданный уравнением (2). Пусть точка M' ($x_{M'}; y_{M'}; z_{M'}$). Тогда проекции вектора деформации на оси пространственной системы координат будут, соответственно, равны $\Delta_{Mx} = x_{M'} - x_M$, $\Delta_{My} = y_{M'} - y_M$, $\Delta_{Mz} = z_{M'} - z_M$.

Направление вектора деформации $\overline{\Delta}_M$ будет задаваться его направляющими косинусами:

$$\cos(\alpha) = \frac{\Delta_{Mx}}{|\overline{\Delta}_M|} = \frac{x_{M'} - x_M}{\sqrt{(x_{M'} - x_M)^2 + (y_{M'} - y_M)^2 + (z_{M'} - z_M)^2}}; \quad (5)$$

$$\cos(\beta) = \frac{\Delta_{My}}{|\overline{\Delta}_M|} = \frac{y_{M'} - y_M}{\sqrt{(x_{M'} - x_M)^2 + (y_{M'} - y_M)^2 + (z_{M'} - z_M)^2}}; \quad (6)$$

$$\cos(\gamma) = \frac{\Delta_{Mz}}{|\overline{\Delta}_M|} = \frac{z_{M'} - z_M}{\sqrt{(x_{M'} - x_M)^2 + (y_{M'} - y_M)^2 + (z_{M'} - z_M)^2}}, \quad (7)$$

где α, β, γ — углы, образованные вектором $\overline{\Delta}_M$ с положительными направлениями осей $O_k x, O_k y, O_k z$ соответственно.

Из курса математики [6] известно, что для любого вектора в пространстве

$$\cos^2(\alpha) + \cos^2(\beta) + \cos^2(\gamma) = 1. \quad (8)$$

Используя равенство (8) и равенство $\Delta_{Mx} = \Delta_{My}$ ($\angle\alpha = \angle\beta$), получим

$$\cos(\alpha) = \pm 1 / \sqrt{2} \sin(\gamma).$$

Для выбранной нами точки M можем записать

$$\angle\alpha = \angle\beta = \arccos\left(1/\sqrt{2} \sin(\gamma)\right). \quad (9)$$

С учетом (5)...(7) и (9) можем определить величины проекций деформаций семенной коробочки льна в выбранной точке M :

$$\cos(\alpha) = \Delta_{Mx} / \left|\overline{\Delta}_M\right| \Rightarrow \Delta_{Mx} = \cos(\alpha) \cdot \left|\overline{\Delta}_M\right| = (\Delta_{кз} \sin(\gamma)) / 2\sqrt{2}; \quad (10)$$

$$\cos(\beta) = \Delta_{My} / \left|\overline{\Delta}_M\right| \Rightarrow \Delta_{My} = \cos(\beta) \cdot \left|\overline{\Delta}_M\right| = (\Delta_{кз} \sin(\gamma)) / 2\sqrt{2}; \quad (11)$$

$$\cos(\gamma) = \Delta_{Mz} / \left|\overline{\Delta}_M\right| \Rightarrow \Delta_{Mz} = \cos(\gamma) \cdot \left|\overline{\Delta}_M\right| = 0,5\Delta_{кз} \cos(\gamma). \quad (12)$$

Равенства (10)...(12) показывают, что все точки с аппликатой z_M на поверхности недеформированной семенной коробочки подчиняются общему закону деформации, зависящему от величины $\Delta_{кз} / 2$ и угла, образованного вектором деформации с положительным направлением оси O_kz .

Причем это хорошо вписывается в теорию уже рассмотренных случаев. Тогда получим:

– при $\gamma = 180^\circ$ $\Delta_{Oz} = \Delta_{кз} / 2$; $\Delta_{Ox} = 0$; $\Delta_{Oy} = 0$;

– при $\gamma = 90^\circ$ $\Delta_{Bz} = 0$; $\Delta_{Bx} = \Delta_{кз} / 2\sqrt{2}$; $\Delta_{By} = \Delta_{кз} / 2\sqrt{2}$.

Также можно спрогнозировать, что, например, при $\gamma = 135^\circ$ получим $\Delta_{Lz} = -\Delta_{кз} / 2\sqrt{2}$; $\Delta_{Lx} = \Delta_{кз} / 4$; $\Delta_{Ly} = \Delta_{кз} / 4$ и т. д.

С учетом (10)...(12) точка M на деформируемую поверхность перейдет в точку M' со следующими координатами:

$$x_{M'} = x_M + \Delta_{Mx} = x_M + (\Delta_{кз} \sin(\gamma)) / 2\sqrt{2}; \quad (13)$$

$$y_{M'} = y_M + \Delta_{My} = y_M + (\Delta_{кз} \sin(\gamma)) / 2\sqrt{2}; \quad (14)$$

$$z_{M'} = z_M + \Delta_{Mz} = z_M + (\Delta_{кз} \cos(\gamma)) / 2. \quad (15)$$

Так как $x_{M'}$, $y_{M'}$, $z_{M'}$ лежат на эллипсоиде, то подчиняются равенству (3), из которого с учетом (13)...(15) можно определить величину угла γ , а значит, деформации и механическое напряжение в любой точке семенной коробочки льна при ее поперечном сжатии. Это, в свою очередь, позволит установить предельные механические напряжения для разрушения семенной коробочки и выделения из нее семян.

Для этого достаточно рассмотреть семенную коробочку льна как упругое тело. При поперечном сжатии условием ее разрушения является $\left|\overline{N}_\delta\right| > \left|\overline{F}_{упр}\right|$, где $\left|\overline{N}_\delta\right|$ — величина силы сжатия семенной коробочки бичом, Н.

При этом, согласно закону Гука, для упругого тела величина силы упругости определяется формулой [7; 8]

$$\left|\overline{F}_{упр}\right| = ES \frac{\Delta l}{l}, \quad (16)$$

где E — модуль Юнга (упругости материала), Па;

S — площадь поперечного сечения, m^2 ;

Δl — величина поперечного сжатия тела, м;

l — линейная величина, определяющая исходное состояние тела, м.

В дифференциальной форме этот закон в точке рассматриваемого материала имеет следующий вид [7; 8]:

$$\sigma_i = E\varepsilon_i, \quad (17)$$

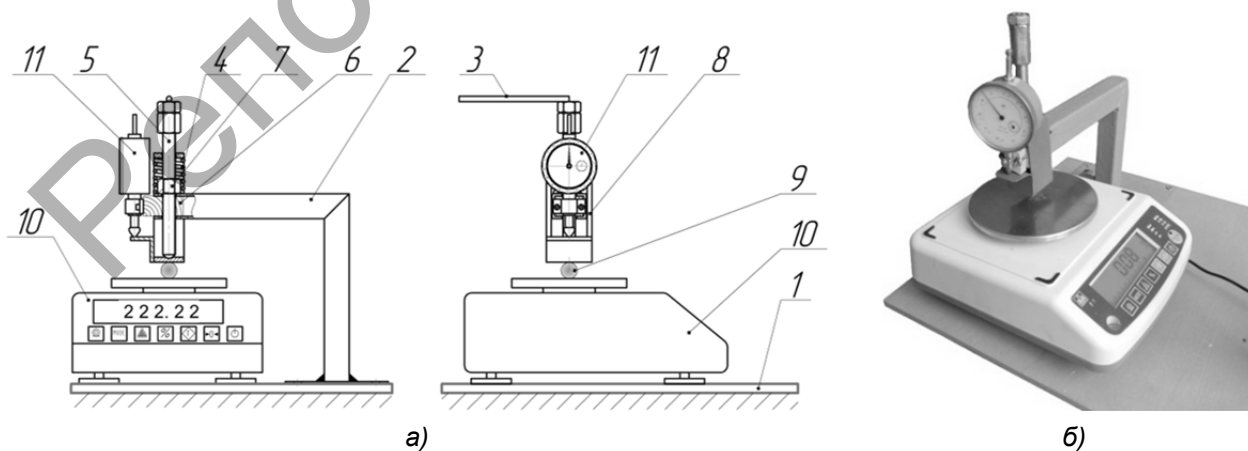
где $\sigma_i = \overline{F_{\text{упр}}} / S_i$ — механическое напряжение в точке, Н / м²;

$\varepsilon_i = \Delta l_i / l$ — величина поперечного сжатия тела в точке.

Физический смысл формулы (17) заключается в том, что механическое напряжение в точках деформируемого тела прямо пропорционально относительному его сжатию с коэффициентом пропорциональности, равным модулю упругости материала данного тела.

Рассматривая формулу (17) применительно к случаю сжатия семенной коробочки льна в целях ее разрушения, можно сделать вывод, что величина механических напряжений в точках коробочки зависит от исходного его состояния ($l = d_k$) и формы (2), ее деформаций в точках, определяемых зависимостями (10) и (11), и формы деформированной поверхности (3). Неизвестной величиной в формулах (16) и (17) является модуль Юнга семенной коробочки льна, который характеризует ее упругие свойства и может быть определен только опытным путем. Экспериментальное определение данного параметра позволит моделировать процесс сжатия и разрушения семенной коробочки льна, а также обосновать рациональную величину зазора между эластичным рабочим органом и сепарирующей решеткой обмолачивающих устройств предлагаемого типа.

Для определения величины упругой деформации, величины деформации коробочки льна при ее разрушении и значений величин сил сжатия при поперечной деформации коробочки, а также модуля Юнга была изготовлена лабораторная установка (рисунок 2). Она представляет собой плиту 1, на которой жестко смонтирована стойка 2 с механизмом разрушения коробочек. Механизм разрушения состоит из рукоятки 3, винта 5 и подпружиненного пружиной 4 ползуна 8, имеющего отполированную рабочую поверхность. Для плавности хода винта 5 установлена упругая резьбовая вставка 6. На плиту 1 под раздавливающий механизм устанавливались весы лабораторные ВК-600 таким образом, чтобы приложение силы разрушения коробочки льна приходилось в центр тарелки весов. Для определения величины смятия коробочки льна на стойке 2 жестко закреплен индикатор часового типа ИЧ-10 с ценой деления 0,01 мм, измерительный стержень которого опирается в полку ползуна 8.



1 — плита; 2 — стойка; 3 — рукоятка; 4 — пружина; 5 — винт; 6 — резьбовая упругая вставка; 7 — гайка; 8 — ползун; 9 — коробочка льна; 10 — весы; 11 — видеокамера

Рисунок 2. — Устройство для определения усилия разрушения и величины деформации коробочек льна: а — схема устройства; б — общий вид устройства

Опыты проводили следующим образом. Коробочка льна, диаметр которой предварительно определялся с помощью цифрового штангенциркуля ШЦЦ-I, укладывалась по центру тарелки весов 10, а раздавливающий механизм относительно коробочки располагался так, чтобы ось вращения винта 5 находилась в центре коробочки. При вращении рукоятки 3 винт 5 совершает перемещение по оси вниз и воздействует на ползун 8, который, преодолевая усилие пружины 4, движется в направлении коробочки льна 9. В момент касания рабочей поверхностью ползуна 8 коробочки 9 индикаторная шкала весов отображает усилие, действующее на коробочку льна 9, в этот момент шкалу индикатора ИЧ-10 устанавливали на ноль. В дальнейшем производили сжатие коробочки с шагом 20 мкм и фиксированием силы сжатия в каждом из 14 положений. Также фиксировались значения силы сжатия и величины деформации коробочки в момент ее разрушения. Исследованию подвергались 50 семенных коробочек льна различного диаметра.

Для определения усилия разрушения были заготовлены опытные образцы льна из рулонов льнотресты ОАО «Горкилен» сорта Грант. В исследованиях использовались только целые (нераскрывшиеся) семенные коробочки льна влажностью 12...14 %.

Модуль Юнга материала семенной коробочки льна на основании (16) определяли по зависимости

$$E = \frac{F_{\text{упр}} d_k}{S \Delta_{\text{кз}}}, \tag{18}$$

- где $F_{\text{упр}}$ — сила упругого сжатия коробочки льна, Н;
- d_k — диаметр семенной коробочки льна, м;
- S — площадь поперечного сечения семенной коробочки льна, м²;
- $\Delta_{\text{кз}}$ — величина поперечного сжатия семенной коробочки льна, м.

В результате проведенных исследований по определению деформаций семенной коробочки льна были получены данные, определяющие взаимосвязь величины сжатия (поперечной деформации $\Delta_{\text{кз}}$) семенной коробочки льна и величины силы сжатия F при этом для различных диаметров семенных коробочек льна. На основании полученных данных для средних значений величин деформации и сил сжатия получена графическая зависимость (рисунок 3, а).

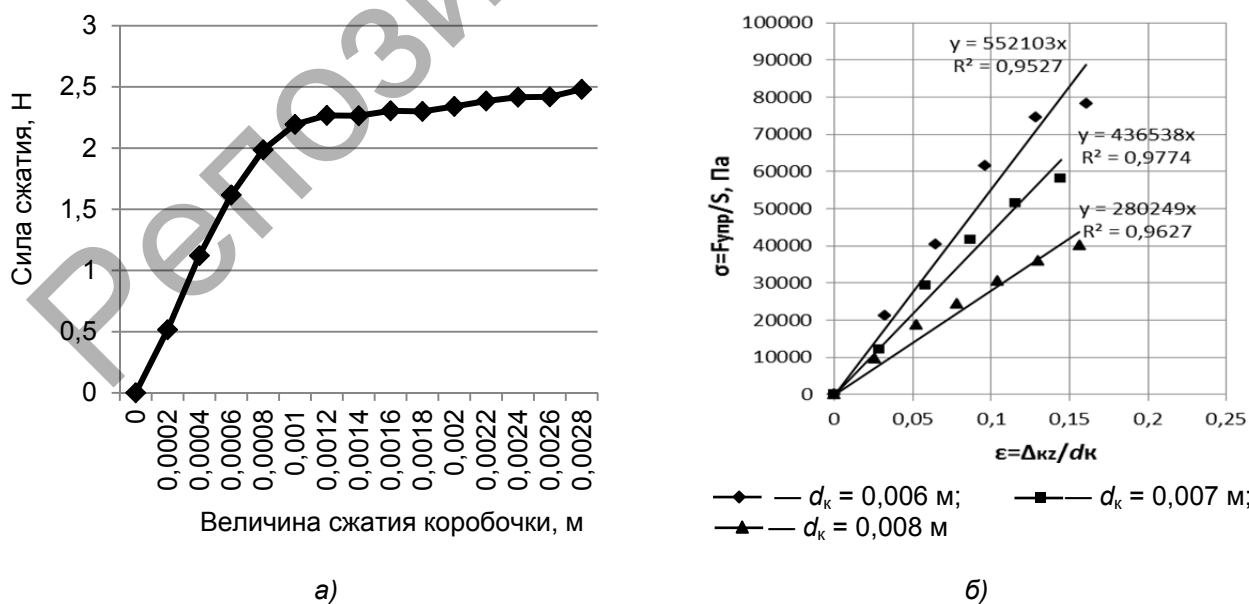


Рисунок 3. — Результаты исследования деформации семенной коробочки льна: а — изменение силы сжатия коробочки от величины сжатия; б — условная диаграмма участка упругости семенной коробочки при различных ее диаметрах для определения модуля Юнга

Анализируя графическую зависимость (см. рисунок 3, а), можно заметить, что на участке сжатия семенной коробочки льна от 0 до 0,0008 м происходит ее упругая деформация. При освобождении семенной коробочки от воздействия приложенной нагрузки на данном участке она принимает свою первоначальную форму. На участке сжатия семенной коробочки льна 0,0008...0,001 м происходит ее разрушение, а дальнейшая деформация сопровождается незначительным снижением силы сжатия. После того как семенная коробочка льна разрушена, ее поперечная деформация сопровождается повторяющимися циклами: незначительным нарастанием сопротивления сжатию, разрушением оболочки и снижением силы сжатия. Циклы нарастания и снижения силы сжатия связаны с морфологией семенной коробочки льна, т. е. наличием в ней семенных гнезд и полугнезд. Диапазон колебания силы сжатия при этом изменяется в пределах от 2,25 до 2,50 Н.

Полученные линейные зависимости (см. рисунок 3, б) с достаточно высокой достоверностью описывают зависимость σ от ε , для семенных коробочек диаметром до 0,006 м коэффициент детерминации $R^2 = 0,95$, для семенных коробочек диаметром 0,007 м коэффициент детерминации $R^2 = 0,98$, а для семенных коробочек диаметром до 0,008 м коэффициент детерминации $R^2 = 0,96$.

На основании формулы (18) установлено, что модуль Юнга для семенной коробочки льна с размерами $d_k = 0,0056...0,0078$ м изменяется от $0,00028 \cdot 10^9$ до $0,00055 \cdot 10^9$ Па, при этом экспериментально определено, что величина ее поперечной деформации $\Delta_{кр}$ до разрушения составляет от 0,0006 до 0,0022 м.

Заключение. В результате анализа деформации семенной коробочки льна при ее поперечном сжатии получены аналитические зависимости для определения угла, задающего направление вектора деформации в любой точке ее поверхности, а также величин проекций деформаций точек, лежащих на поверхности семенной коробочки льна. С учетом упругих свойств семенной коробочки льна данные зависимости позволяют установить предельные механические напряжения для разрушения семенных коробочек и выделения из них семян.

Разработана методика, а также проведены экспериментальные исследования по определению величины упругой деформации семенной коробочки льна и характера ее разрушения. Установлена величина упругой деформации семенной коробочки льна. Получены данные, определяющие взаимосвязь величины сжатия семенной коробочки льна и значений силы сжатия при этом для различных диаметров семенных коробочек льна. Определены значения зависимости механического напряжения, возникающего в семенной коробочке, от ее относительной деформации. Расчетные значения величин модуля Юнга для семенных коробочек диаметром 0,0056...0,0078 м составляют $0,00028 \cdot 10^9...0,00055 \cdot 10^9$ Па. Установлены значения предельной величины сжатия семенной коробочки 0,0006...0,0022 м, определяющей момент ее разрушения.

Список цитированных источников

1. Анализ устройств для отделения семян льна от стеблей / В. А. Шаршунов [и др.] // Вестн. БГСХА. — 2017. — № 4. — С. 174—180.
2. Устройство для отделения семенных коробочек от стеблей льна : пат. 7224 Респ. Беларусь : МПК А 01F 11/00 / В. Е. Кругленья, М. В. Лёвкин, В. И. Коцуба, С. Н. Крепочин, В. А. Левчук ; заяв. Белорус. гос. с.-х. акад. ; № u 20100607 ; заявл. 06.07.10 ; дата публ.: 02.02.2011 // Афіц. бюл. / Нац. цэнтр інтэлект. уласнасці. — 2011. — № 2. — С. 154.
3. Устройство для выделения семян из ленты льна : пат. 8183 Респ. Беларусь : МПК А01D 45/06 / В. Е. Кругленья, М. В. Лёвкин, В. А. Левчук ; заяв. Белорус. гос. с.-х. акад. ; № u 20110743 ; заявл. 29.09.2011 ; дата публ.: 30.04.2012 // Афіц. бюл. / Нац. цэнтр інтэлект. уласнасці. — 2012. — № 2. — С. 197.
4. Исследование обмолачивающего устройства в линии первичной переработки льна / В. А. Шаршунов [и др.] // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. аграр. навук. — 2015. — № 3. — С. 112—117.

5. Курзенков, С. В. Моделирование деформации коробочки льна при ее сжатии между бичом и декой в процессе обмолота / С. В. Курзенков, В. А. Левчук, М. В. Цайц // Вестн. БГСХА. — 2022. — № 1. — С. 142—147.

6. Воднев, В. Т. Основные математические формулы : справочник / В. Т. Воднев, Н. Ф. Наумович, А. Ф. Наумович ; ред. Ю. С. Богданов. — 3-е изд., перераб. и доп. — Минск : Выш. шк., 1995. — 380 с.

7. Математическая физика : энциклопедия / Рос. фонд фундамент. исслед. ; редкол.: Л. Д. Фадеев [и др.]. — М. : Большая рос. энцикл., 1998. — 691 с.

8. Яворский, Б. М. Справочник по физике для инженеров и студентов ВУЗов / Б. М. Яворский, А. А. Детлаф. — 4-е изд. перераб. — М. : Наука, 1968. — 940 с.

Поступила в редакцию 22.03.2022.

Репозиторий БарГУ