

МЕХАНИЗАЦИЯ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 633.521

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЯ РАЗРУШЕНИЯ КОРОБОЧЕК ЛЬНА-ДОЛГУНЦА

М. В. ЦАЙЦ

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»,
г. Горки, Республика Беларусь, 213407, e-mail: baa_bgd@tut.by

(Поступила в редакцию 14.09.2021)

В статье обоснована необходимость определения усилия разрушения коробочек льна-долгунца. Определены наиболее характерные схемы воздействия рабочих органов обмолачивающего устройства на коробочки льна-долгунца: линейное нагружение по оси коробочки, линейное нагружение с приложением момента скручивания, осевое нагружение, радиальное нагружение. Описана методика проведения исследований. Представлены уравнения и зависимости определения сил трения и крутящего момента, возникающих в процессе разрушения коробочек льна. Приведены графики распределения усилия разрушения коробочек льна и предельного значения величины смятия коробочек в зависимости от влажности, степени зрелости, а также графики зависимости материала воздействующего на коробочки льна. Приведен график изменения расчетного момента кручения при воздействии полиуретановыми и металлическими пластинами. Исследовались коробочки льна в стадии зеленой спелости влажностью от 21 до 67 %, желтой зрелости от 17 до 49 % и бурой (полной) от 16 до 36 %. В качестве материала воздействующего на коробочку льна при разрушении использовались металлические и полиуретановые пластины.

Отмечается сильная прямая связи между силой разрушения коробочки льна и ее влажностью (коэффициент корреляции в проведенных опытах колеблется от 0,94 до 0,99), при этом эта зависимость снижается по мере созревания коробочек льна. Установлена высокая степень связи между критической величиной смятия и влажностью коробочек (коэффициент корреляции в проведенных опытах колеблется от 0,98 до 0,99). Скручивающее воздействие на коробочку льна-долгунца снижает усилие разрушения на 25...40 % в зависимости от влажности и степени зрелости, а величину предельного смятия на 9...12,5 %.

Ключевые слова: обмолот коробочек льна, лен-долгунец, коробочки льна, разрушение коробочек льна.

The article substantiates the need to determine the destruction force of fiber flax bolls. The most typical schemes of the impact of working organs of threshing device on fiber flax bolls have been determined: linear loading along the boll axis, linear loading with the application of a torsion moment, axial loading, radial loading. The research methodology is described. Equations and dependences of determining the forces of friction and torque arising in the process of destruction of flax bolls are presented. We have presented the graphs of distribution of destruction force of flax bolls and the limiting value of bolls crushing, depending on humidity and degree of maturity, as well as graphs of dependence of the material acting on the flax bolls. The graph shows the change in design torque of torsion under the influence of polyurethane and metal plates. Flax bolls were studied at the stage of green ripeness with moisture content from 21 to 67 %, yellow maturity from 17 to 49 %, and brown (full) from 16 to 36 %. Metal and polyurethane plates were used as the material affecting the flax boll during destruction.

There is a strong direct relationship between the force of destruction of flax bolls and their moisture (the correlation coefficient in the experiments carried out ranges from 0.94 to 0.99), while this dependence decreases as flax bolls mature. A high degree of connection was established between the critical value of crushing and the moisture content of the bolls (the correlation coefficient in the experiments carried out ranges from 0.98 to 0.99). The twisting influence on fiber flax boll reduces the destruction force by 25 ... 40 %, depending on the moisture content and the degree of maturity, and the value of the limiting crushing by 9 ... 12.5 %.

Key words: threshing of flax bolls, fiber flax, flax bolls, destruction of flax bolls.

Введение

Лен-долгунец, является культурой двойного назначения, производство которого сводится, с одной стороны, к получению высококачественного волокна, а с другой стороны, к получению качественных семян. За последние годы в Беларуси наблюдается рост урожайности как по волокну, так и по семенам льна [1]. Фактически по сравнению с 2001 годом урожайность увеличилась более чем в 2 раза, что не может не отразиться на качестве работы уборочной техники.

Одним из наиболее ответственных процессов в уборке льна-долгунца является отделение семян льна от стеблей. Отделение семенной части льна-долгунца от стеблей издавна осуществляется двумя

принципиально различными способами: отрывом коробочек льна от стеблей (очес) или разрушением коробочек на стеблях (обмолот) с последующей сепарацией [2]. Величина урожая семян и их качество (травмирование, микроповреждения) и волокна, размер потерь, качество льнопродукции, трудоемкость и энергоемкость сушки и обработки льновороха зависят от уровня совершенства процесса отделения семян от стеблей льна-долгунца [2].

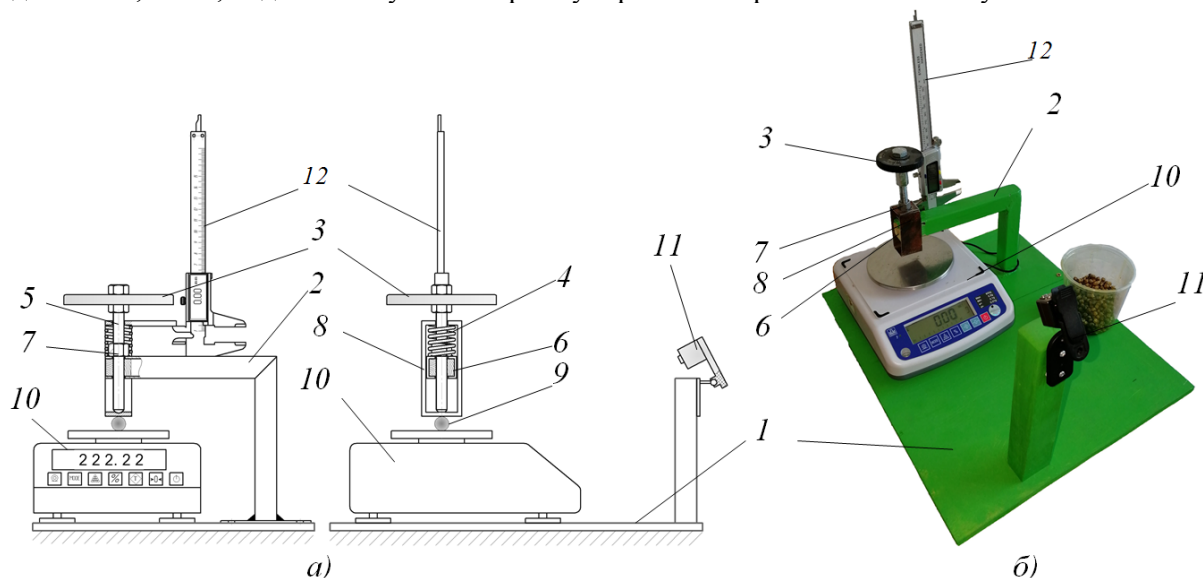
В связи с невысоким качеством посевного материала до 30 % площадей льна-долгунца засеваются семенами массовых репродукций или семена покупаются за рубежом [2, 3].

Поскольку плод у льна-долгунца представляет собой шаровидную мелкую коробочку, характеризующую длиной и шириной (диаметром), содержащую пять гнезд, каждое из которых разделено неполной, обычно неопушенной перегородкой на два полугнезда, содержащих по одному семени, то на процесс разрушения коробочки будет оказывать влияние схема нагружения.

В процессе обмолота роторным бильно-вычесывающим устройством [4, 5, 6, 7] коробочки льна на стеблях ориентированы по оси стебля и их разрушение в молотильном зазоре, между ротором и щеткой, происходит радиально (сжатие коробочки с боков), а затем при протаскивании коробочки в подроторное пространство ориентацию коробочки определить сложно и схема нагружения ее может быть различной.

Основная часть

Усилие разрушения коробочек льна определяли с помощью изготовленной лабораторной установки представленной на рис. 1. Лабораторная установка представляет собой плиту 1, на которой жестко смонтированы стойка 2 с механизмом разрушения коробочек и стойка с камерой 11. 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 и весы SF-400 таким образом, чтобы приложение силы разрушения коробочки льна приходилось в центр тарелки весов. Для определения предельной величины смятия коробочки льна, на стойке 2 жестко закреплена неподвижная губка цифрового штангенциркуля ШЦЦ-I в металлическом корпусе 12 с ценой деления 0,01 мм, подвижная губка которого упирается в верхнюю часть 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

Рис. 1. Устройство для определения усилия разрушения коробочек льна

При линейном воздействии на коробочки льна, как указано на рисунке 2, а, опыты проводили следующим образом. Коробочка льна укладывалась посередине 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 производили обнуление цифрового штан-

генциркуля с целью определения величины смятия коробочки до разрушения. Воздействие на коробочки производили в статическом режиме, медленно вращая рукоятку, не допуская толчков и резких движений. В момент разрушения коробочки льна усилие, отражаемое на индикаторной шкале весов, резко снижается. Этот момент принимался как момент разрушения. При этом показания цифрового штангенциркуля отражали предельную величину смятия коробочки льна, а максимальное значение, отображаемое индикаторной шкалой весов, определяли путем анализа видеозаписи с камеры 11. Линейное воздействие на коробочки льна производили по схемам рис. 2, в и рис. 2, г. В качестве поверхностей сжатия коробочки использовались: поверхность тарелки весов и металлическая поверхность ползуна δ в первом варианте; во втором варианте на поверхность тарелки весов укладывалась полиуретановая пластина толщиной 8 мм марки Elastollan 1154 D, твердость по Шору – 53 D, плотность – 1,17 г/см³, с устойчивостью к истиранию 20 мм³, такие же полиуретановые пластины приклеивались к рабочей поверхности ползуна δ (рис. 1) при первом варианте воздействия на коробочки (рис. 2,а) и к рабочей поверхности винта на коробочку (рис. 2,б) [8, 9].

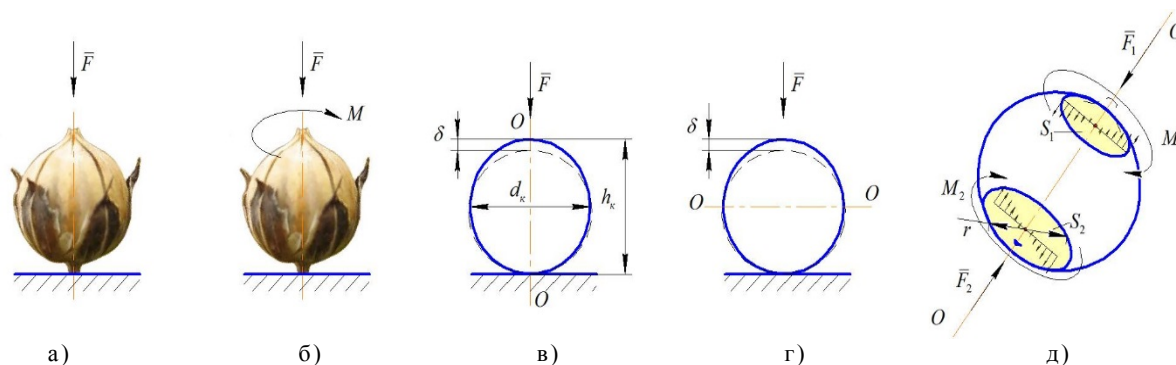


Рис. 2. Схемы воздействия на коробочки льна: а) линейное воздействие по оси коробочки; б) линейное воздействие и момент скручивания; в) осевое воздействие; г) радиальное воздействие на коробочки

При линейном воздействии на коробочки и приложенном моменте скручивания коробочки льна, как указано на рисунке 2, б, опыты проводили аналогично за исключением того, что воздействие на коробочку раздавливающего механизма производилось не посредством ползуна δ , а самим винтом 5. При увеличении смятия коробочки льна увеличивалось пятно контакта рабочей поверхности винта с коробочкой и возникал момент скручивания. Данный опыт разрушения коробочки льна производили также по схемам рис. 2, в и рис. 2, г. Сжатие коробочки льна приводит к увеличению пятна контакта винта с коробочкой, с одной стороны, и пятна контакта коробочки с тарелкой весов в первом варианте опытов – использование стальной поверхности, то же самое происходит при втором варианте опытов – использовании полиуретановой поверхности. При этом образуется пятно контакта, близкое по форме к окружности (рис. 2, д). Предполагая, что поверхность трения имеет площадь круга, то сопротивление, оказываемое силами трения моменту, вращающему винт относительно коробочки льна, будет иметь равнодействующий момент силы трения, приложенной на окружности с радиусом R .

Момент полной силы трения:

$$M_{\text{кр}} = F_{\text{тр}} \cdot R \quad (1)$$

где $F_{\text{тр}}$ – полная сила трения скольжения, Н; R – радиус окружности, на которой приложена равнодействующая элементарных сил трения, м.

Поскольку в расчетах поверхность трения принимается площадью круга, то радиус окружности, на которой приложена равнодействующая элементарных сил трения:

$$R = \frac{2}{3} \cdot r. \quad (2)$$

Полную силу трения скольжения можно определить:

$$F_{\text{тр}} = p \cdot \pi \cdot f \cdot r^2. \quad (3)$$

где p – давление на поверхности трения, т. е. сила, приходящаяся на единицу поверхности трения, Н/м²; f – коэффициент трения скольжения.

Для определения усилия разрушения были заготовлены опытные образцы льна сорта Грант на поле ОАО «Горкилен» урочище Волковщина в период 6–13 августа 2020 г. Были выделены три пучка льна разной спелости: зеленой, желтой и бурой. Для этого подбирали участок поля, где можно выделить

определенную фазу спелости. Затем формировали пучки, содержащие 500–600 растений, в которых были оставлены коробочки одной спелости, а остальные удаляли. Таким образом, были получены пучки с зеленой, желтой и бурой спелостью.

Исследования проводились в студенческой научно-исследовательской лаборатории «Ресурсосберегающие технологии переработки льна» кафедры безопасности жизнедеятельности и в научно-исследовательской лаборатории кафедры ботаники и физиологии растений в УО БГСХА.

Подготовка к опытам включала в себя следующие операции:

- взвешивание бюксы для определения влажности материала;
- наладка опытной установки;
- подбор опытных образцов коробочек, заключающийся в отделении коробочек с плодоножкой от стеблей, по 200 штук разной спелости.

После отбора образцов производилось их разделение в зависимости от стадии спелости и влажности.

Определение статистических характеристик вариационного ряда производилось по классическому способу [5, 10, 11], где основными его характеристиками являются:

- среднее арифметическое,

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (4)$$

где n – число выборки;

- среднее квадратическое отклонение:

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}; \quad (5)$$

- ошибка средней арифметической:

$$m_M = \pm \frac{\sigma}{\sqrt{n}}; \quad (6)$$

- показатель точности опыта:

$$C_V = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100, \%; \quad (7)$$

- коэффициент вариации по среднему квадратическому отклонению:

$$p = \frac{C_V}{\sqrt{n}}, \%. \quad (8)$$

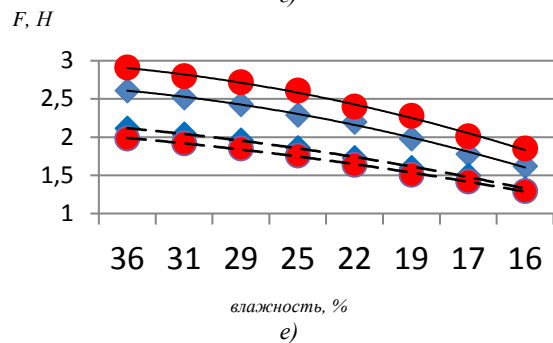
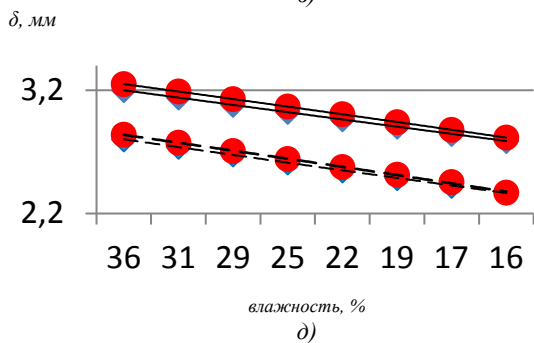
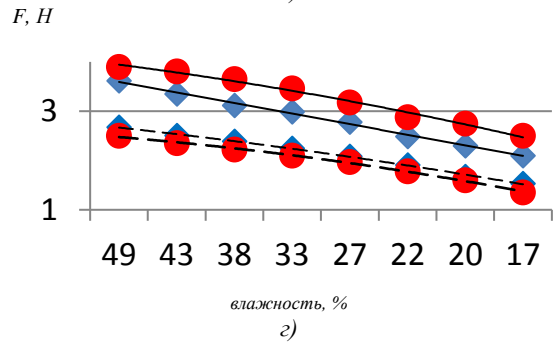
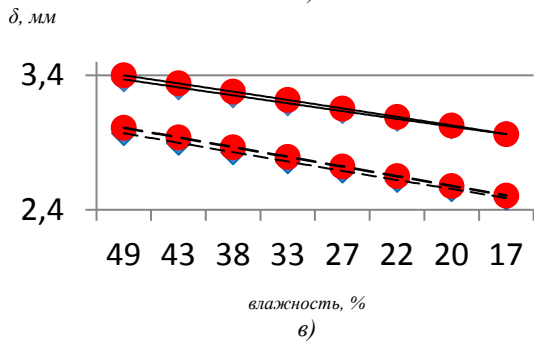
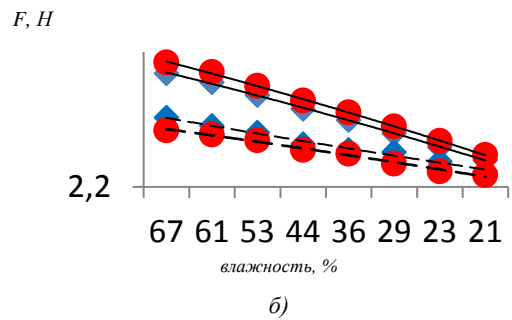
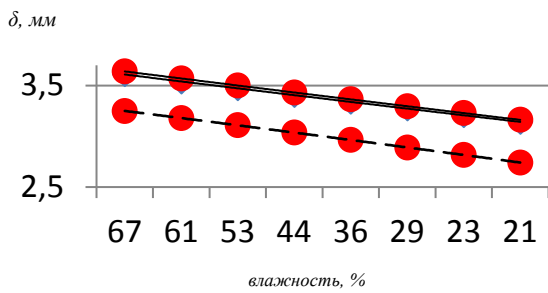
Размеры коробочек льна, используемые в опытах, находились в следующих пределах:

- зеленые коробочки: длина – 7,1...8 мм (среднее значение – 7,8 мм); в диаметре – 6,2...6,8 мм (среднее значение – 6,5 мм);
- желтые коробочки: длина – 7,0...7,9 мм (среднее значение – 7,7 мм); в диаметре – 6,3...6,8 мм (среднее значение – 6,6 мм);
- бурые коробочки: длина – 7,0...7,9 мм (среднее значение – 7,7 мм); в диаметре – 6,4...6,9 мм (среднее значение – 6,6 мм).

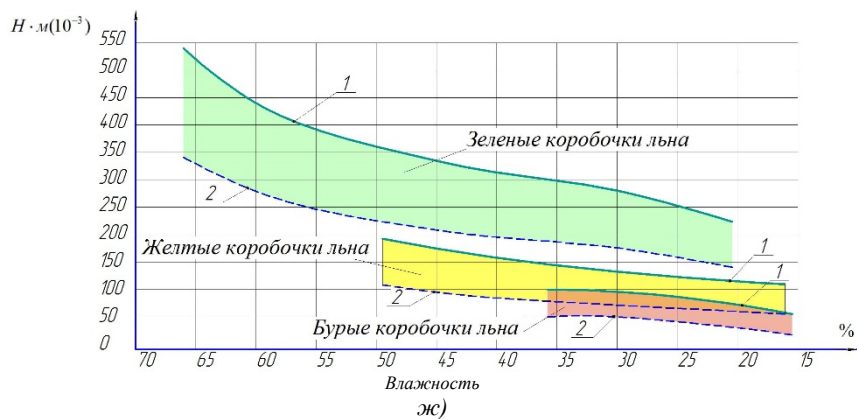
В результате проведенных исследований (рис. 3) было установлено, что критическая величина деформации коробочки льна-долгунца при воздействии на нее стальными пластинами меньше, чем величина критической деформации при воздействии полиуретановыми пластинами. Это характерно для всех коробочек вне зависимости от степени зрелости и влажности. Разница между значениями критической величины деформации у металлических пластин и величина колеблется в пределах 0,01...0,09 мм, наибольшее ее значение у зеленых коробочек, а для бурых коробочек ее значение близко к нулю.

Усилие разрушения коробочек снижается при уменьшении влажности нелинейно и имеет выпуклую форму:

- для зеленых коробочек (рис. 3, а) влажностью от 67 до 21 % – при воздействии металлическими поверхностями с 8,1 до 3,58 Н при линейном воздействии на коробочки, с 5,75 до 2,62 Н при линейном и приложенном моменте скручивания и при воздействии полиуретановыми поверхностями с 8,67 до 3,83 Н при линейном воздействии на коробочки, с 5,98 до 2,73 Н при линейном и приложенном моменте скручивания;



- — изменение силы сжатия коробочки $P_{пол1}$ и критической величины смятия коробочки δ_1 при использовании полиуретановых пластин;
- -●- - - изменение силы сжатия коробочки $P_{пол2}$ и критической величины смятия коробочки δ_2 при использовании полиуретановых пластин с приложением крутящего момента $M_{кр}$;
- ◆— — изменение силы сжатия коробочки $P_{ст1}$ и критической величины смятия коробочки δ_1 при использовании стальных пластин;
- -◆- - - изменение силы сжатия коробочки $P_{ст2}$ и критической величины смятия коробочки δ_2 при использовании стальных пластин с приложением крутящего момента $M_{кр}$



- 1) изменение момента кручения при воздействии полиуретановыми пластинами; 2) изменение момента кручения при воздействии стальными пластинами

Рис. 3. Результаты исследований разрушения коробочки льна-долгунца: а) зависимость предельной величины смятия коробочки от влажности в фазе зеленой спелости; б) зависимость силы разрушения от влажности в фазе зеленой спелости; в) зависимость предельной величины смятия коробочки от влажности в фазе желтой спелости; г) зависимость силы разрушения от влажности в фазе желтой спелости; д) зависимость предельной величины смятия коробочки от влажности в фазе бурой спелости; е) зависимость силы разрушения от влажности в фазе бурой спелости

– для желтых коробочек (рис. 3, в) влажностью от 49 до 17 % – при воздействии металлическими поверхностями с 3,62 до 2,0 Н при линейном воздействии на коробочки, с 2,53 до 1,4 Н при линейном и приложенном моменте скручивания и при воздействии полиуретановыми поверхностями с 3,9 до 2,5 Н при линейном воздействии на коробочки, с 2,61 до 1,81 Н при линейном и приложенном моменте скручивания;

– для бурых коробочек (рис. 3, д) влажностью от 36 до 16 % – при воздействии металлическими поверхностями с 2,61 до 1,6 Н при линейном воздействии на коробочки, с 1,83 до 1,14 Н при линейном и приложенном моменте скручивания и при воздействии полиуретановыми поверхностями с 2,91 до 1,91 Н при линейном воздействии на коробочки, с 2,18 до 1,42 Н при линейном и приложенном моменте скручивания.

Критическая величина смятия коробочки льна в зависимости от влажности изменяется по линейной зависимости:

– для зеленых коробочек (рис. 3, б) влажностью от 67 до 21 % – при воздействии металлическими поверхностями с 3,05 до 3,61 мм при линейном воздействии на коробочки, с 2,67 до 3,23 мм при линейном и приложенном моменте скручивания и при воздействии полиуретановыми поверхностями с 3,15 до 3,64 мм при линейном воздействии на коробочки, с 2,76 до 3,25 Н при линейном и приложенном моменте скручивания;

– для желтых коробочек (рис. 3, з) влажностью от 49 до 17 % – при воздействии металлическими поверхностями с 2,88 до 3,37 мм при линейном воздействии на коробочки, с 2,49 до 2,97 мм при линейном и приложенном моменте скручивания и при воздействии полиуретановыми поверхностями с 2,98 до 3,4 Н при линейном воздействии на коробочки, с 2,57 до 3,01 мм при линейном и приложенном моменте скручивания;

– для бурых коробочек (рис. 3, е) влажностью от 36 до 16 % – при воздействии металлическими поверхностями с 2,7 до 3,2 мм при линейном воздействии на коробочки, с 2,37 до 2,8 мм при линейном и приложенном моменте скручивания и при воздействии полиуретановыми поверхностями с 2,83 до 3,25 мм при линейном воздействии на коробочки, с 2,37 до 2,8 мм при линейном и приложенном моменте скручивания.

Использование полиуретановых пластин приводит к незначительному росту критической величины смятия коробочек, что следует связать с эластичностью (упругостью) самого полиуретана. Также стоит отметить снижение критической величины смятия полиуретановыми пластинами и приближение этого показателя к показателям металлических пластин по мере снижения влажности коробочки льна. Таким образом, величина критического смятия коробочек льна при воздействии на них в стадии желтой и бурой спелости при влажности 16–25 % металлическими и полиуретановыми пластинами не существенна и в расчетах ею можно пренебречь.

Заключение

Основными факторами, определяющими усилие разрушения коробочки льна-долгунца, являются степень зрелости коробочки и ее влажность. Имеется сильная прямая связь между силой разрушения коробочки льна и ее влажностью (коэффициент корреляции в проведенных опытах колеблется от 0,94 до 0,99), а также высокая степень связи между критической величиной смятия и влажностью коробочек (коэффициент корреляции в проведенных опытах колеблется от 0,98 до 0,99). Скручивающее воздействие на коробочку льна-долгунца снижает усилие разрушения на 25...40 % в зависимости от влажности и степени зрелости, а величину предельного смятия на 9...12,5 %. Влияние применения металлических и полиуретановых пластин на критическую величину смятия не существенно и при влажности коробочек льна 16–25 % ничтожно мала, ею можно пренебречь. Влияние использования полиуретановых и металлических пластин на усилие разрушения коробочек неодинаково, и зависит от схемы нагружения коробочки. При линейном нагружении коробочки применение полиуретановых пластин приводит к увеличению усилия разрушения на 14–20 %, а при скручивании приводит к снижению на 4,87–14,48 %.

Таким образом, комбинированное воздействие на коробочку льна-долгунца снижает усилие необходимое для ее разрушения, а также уменьшает критическую величину деформации.

Полученные данные могут быть использованы при разработке конструкций обмолачивающих (очесывающих) устройств для отделения семенной части льна от стеблей и других льноуборочных машин, в частности, для уточнения силы и способа воздействия рабочего органа на обрабатываемый материал.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шаршунов, В. А. Состояние льноводческой отрасли Республики Беларусь и пути повышения ее эффективности / В. А. Шаршунов, А. С. Алексеенко, М. В. Цайц // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2019. – № 2. – С. 267–271.
2. Шаршунов, В. А. Анализ устройств для отделения семян льна от стеблей / В. А. Шаршунов, А. С. Алексеенко, М. В. Цайц, В. А. Левчук // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2017. – № 4. – С. 174–180.
3. Основы расчета рабочих органов машин и оборудования для производства семян льна / В. А. Шаршунов, В. Е. Кругленя, А. Н. Кудрявцев [и др.]. – Горки: Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, 2016. – 156 с.
4. Устройство для отделения семенных коробочек льна от стеблей: пат. 21293 Респ. Беларусь, МПК А 01D 45/06 (2006.01) / В. Е. Кругленя, В. И. Коцуба, П. Д. Сентюров, А. Д. Сентюров, М. В. Цайц, Г. А. Райлян, И. Л. Подшиваленко; заявитель УО «Белорус. гос. с.-х. акад.» – № а 20130044; заявл. 14.01.13; опубл. 25.05.17 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2017. – № 4(117). – С. 57.
5. Веденяпин, Г. В. Общая методика экспериментальных исследований и обработки опытных данных / Г. В. Веденяпин. – М.: Колос, 1967. – 159 с.
6. Цайц, М. В. Исследование изгибающего воздействия роторного бильно-вычесывающего устройства на ленту льна / М. В. Цайц, Ю. И. Домчев // Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства: сб. науч. тр. / редкол.: В. Р. Петровец (гл. ред.) [и др.]. – Горки: БГСХА, 2021. – Вып. 6. – С. 164–169.
7. Домчев, Ю. И. Определение основных конструктивных параметров роторного устройства для обмолота льна / Ю. И. Домчев, М. В. Цайц // Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства: сб. науч. тр. / редкол.: В. Р. Петровец (гл. ред.) [и др.]. – Горки: БГСХА, 2021. – Вып. 6. – С. 170–175.
8. Характеристики полиуретана [Электронный ресурс]: 2020. – Режим доступа: <https://pur.by/poliuretan-2/harakteristiki-poliuretana/> Дата доступа: 04.06.2020.
9. Полиуретан: применение и свойства [Электронный ресурс]: Полимертехпром. – 2020. – Режим доступа: <https://polimertechprom.com/poliuretan-primenenie-i-svojtva/>. Дата доступа: 04.06.2020.
10. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения: ГОСТ 27.002-89. – Введ. 01.07.90. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 38 с.
11. Техника сельскохозяйственная. Комплексная система обеспечения надежности: СТБ 1917-2008. – Введ. 01.06.09. – Минск: БелГИСС, 2009. – 120 с.