



УДК 634.1: 681.2: 001.89

А.Ф. АЛЕЙНИКОВ^{1,2}, доктор технических наук, главный научный сотрудник,
В.В. МИНЕЕВ¹, старший научный сотрудник

¹Сибирский физико-технический институт аграрных проблем СФНЦА РАН

630501, Россия, Новосибирская область, пос. Краснообск

²Новосибирский государственный технический университет

630073, Россия, Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20

e-mail: fti2009@yandex.ru

ИЗМЕРЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЯГОД ОБЛЕПИХИ И СМОРОДИНЫ

Обоснована необходимость определения физико-механических свойств ягод при их уборке: усилия отрыва, усилия раздавливания, предела прочности кожицы и коэффициента относительной прочности ягод. В существующих приборах не определяется предел прочности кожицы, так как площадь пятна контакта плунжера с поверхностью ягоды в этом случае неизвестна. В момент отрыва и раздавливания ягоды измеряемая сила резко уменьшается и разгружает устройство захвата и раздавливания, которое благодаря своим упругим свойствам и массе может совершать свободные колебания и создавать паразитные силы, воспринимаемые датчиком. Создан специальный силоизмерительный стенд для определения особенностей измерения механических свойств ягод. Приведена методика исследования зависимостей усилия раздавливания и предела прочности кожицы ягод от диаметра и площади пятна контакта плунжера с поверхностью ягоды. Получены зависимости усилия раздавливания и предела прочности кожицы ягод от диаметра и площади раздавливающего плунжера на однородных по размеру и спелых ягодах облепихи Алтайская и черной смородины Здоровье. Зависимости аппроксимируются линейными, полиномиальными и степенными функциями, что позволяет определять предел прочности кожицы ягод при неизвестной площади пятна контакта плунжера и ягоды. Результаты исследований, полученные на силоизмерительном стенде, использованы при разработке экспериментального образца микропроцессорного прибора «ПЛОДТЕСТ-2» для измерения усилия отрыва, усилия раздавливания, предела прочности кожицы и коэффициента относительной прочности ягод. Проведенные испытания микропроцессорного прибора в диапазоне измерений силы от 0,10 до 6,00 Н показали высокую точность измерения. Предел систематической составляющей и предел среднеквадратического отклонения случайной составляющей основной абсолютной погрешности измерения силы соответственно $\pm 0,008$ и $\pm 0,009$ Н.

Ключевые слова: прочность кожицы ягод, раздавливание, усилие отрыва, микропроцессорный прибор «ПЛОДТЕСТ-2».

Физико-механические свойства ягод определяют приспособленность сорта ягодных культур к механизированной уборке [1–3]. К таким свойствам относят прочность кожицы и адгезии плодоножки к ветви (ягоде).

Прочность кожицы ягоды характеризуется статическим усилием ее раздавливания F_p и пределом прочности σ ; прочность адгезии плодоножки к ветви (ягоде) – статическим усилием отрыва ягоды F_0 от плодоножки

(или от ветви вместе с плодоножкой) [1]. Предел прочности кожицы определяют по формуле [1]

$$\sigma = \frac{F_p}{S},$$

где S – площадь поперечного сечения раздавливающего плунжера.

Часто применяют комплексный показатель – коэффициент относительной прочности ягод:

$$K = \frac{F_p - F_0}{F_0}.$$

Считают, что сорт пригоден к машинной уборке, если коэффициент относительной прочности ягод $K \geq 0,8$. Исследователи используют для раздавливания ягод плунжеры с разной площадью поперечного сечения S . Это приводит к несопоставимости результатов измерений усилия раздавливания F_p и соответственно коэффициента относительной прочности K , а также предела прочности кожицы σ .

Необходимость приведения значений усилий раздавливания, полученных при раздавливании плунжерами с разной площадью поперечного сечения, к единому значению давно назрела [4–8]. Однако методик определения приведенных физико-механических свойств ягод нами не обнаружено. При уборке раздавливание происходит путем сжатия ягоды между плоскими жесткими пластинами рабочих органов уборочного комбайна с площадью, большей площади пятна контакта пластин с ягодой, поэтому этот режим необходимо применять при определении усилия раздавливания.

В имеющихся средствах для оценки механических свойств ягод не определяется предел прочности кожицы, так как площадь пятна контакта плунжера с поверхностью ягоды в этом случае неизвестна [9, 10]. Значение показателя «усилие раздавливания ягод» используется не только самостоятельно, но и при вычислении других показателей. В связи с этим необходима оценка степени зависимости данного показателя от геометрических параметров раздавливающего плунжера. Кроме того, сила, прикладываемая к тензодатчику, при отрыве и раздавливании имеет определенную скорость изменения, обусловленную скоростью перемещения нагружающего элемента, поэтому скорость ее изменения будет влиять на погрешность измерения этой силы. В момент отрыва и раздавливания ягоды измеряемая сила резко уменьшается и разгружает устройство захвата и раздавливания, которое благодаря своим упругим свойствам и массе может совершать свободные колебания и создавать паразитные силы, воспринимаемые датчиком. В связи с этим необходимо оценить влияние названных факторов на погрешность измерения силы. Кроме того, при измерениях необходимо учитывать влияние смещения точки приложения измеряемой силы от оси симметрии силововводящего элемента.

Цель работы – разработка методики и экспериментального образца прибора для определения комплекса прочностных параметров ягод.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для проведения эксперимента разработан силоизмерительный стенд, в состав которого входили штатив, набор образцовых гирь второго разряда ГО-2-1110 (Россия) и силоизмерительный прибор DN-FGA-K2 фирмы DACELL с пределом измерений 19,6 Н и приведенной относительной погрешностью $\pm 0,2 \%$ [11]. На штативе неподвижно установлен силоизмерительный прибор DN-FGA-K2 со сменными нажимными плунжерами диаметром от 4 до 9 мм и подвесными элементами. Относительно вертикальных направляющих штатива перемещалась платформа с плоской горизонтальной поверхностью для установки на ней ягод и образцовых гирь. Скорости перемещения платформы 0,004; 0,008 и 0,013 м/с воспроизводили при помощи электродвигателя с встроенным в него редуктором. Для измерения диаметра нажимных плунжеров использовали цифровой штангенциркуль ШЦЦ-1 (предел основной абсолютной погрешности 0,03 мм). При определении скорости перемещения платформы дополнительно использовали секундомер СОСпр-26-2-000.

Методика исследования зависимостей усилия раздавливания и предела прочности кожицы ягод от размеров (диаметра и площади) плунжера включала следующие приемы. Отбирали однородные по размеру и спелости ягоды из расчета не менее 15 шт. для каждого варианта раздавливания. Затем силоизмерительным прибором DN-FGA-K2 измеряли усилия раздавливания ягод F_p цилиндрическими плунжерами с плоскими торцами разных диаметров (не менее трех), при этом диаметр пятна контакта должен быть равен диаметру плунжера.

Далее проверяли результаты наблюдений на нормальность закона распределения и определяли математические ожидания усилий раздавливания ягод F_p (результаты измерений), а также доверительные границы погрешности измерений при доверительной вероятности $p = 0,95$ для каждого варианта раздавливания.

Затем путем косвенных измерений определяли прочность кожицы ягоды σ делением усилия раздавливания ягод F_p на площадь S поперечного сечения плунжера и оценивали дополнительные погрешности измерения для каждого варианта раздавливания.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Получены зависимости усилия раздавливания и предела прочности кожицы ягод от размеров (диаметра и площади) раздавливающего плунжера. Эксперимент проводили с однородными по размеру спелыми ягодами облепихи Алтайская и черной смородины Здоровье (рис. 1–4).

В результате анализа этих зависимостей установлено следующее.

При изменении диаметра плунжера от 5 до 9 мм усилие раздавливания возрастает в 1,5 и 1,2 раза, предел прочности кожицы ягод облепихи и черной смородины уменьшается в 2,1 и 2,6 раза соответственно.

Зависимости усилия раздавливания и предела прочности кожицы ягод облепихи и черной смородины от диаметра и площади раздавливающего плунжера для ягод облепихи и черной смородины хорошо аппроксимируются линейными, полиномиальными и степенными функциями. Это по-

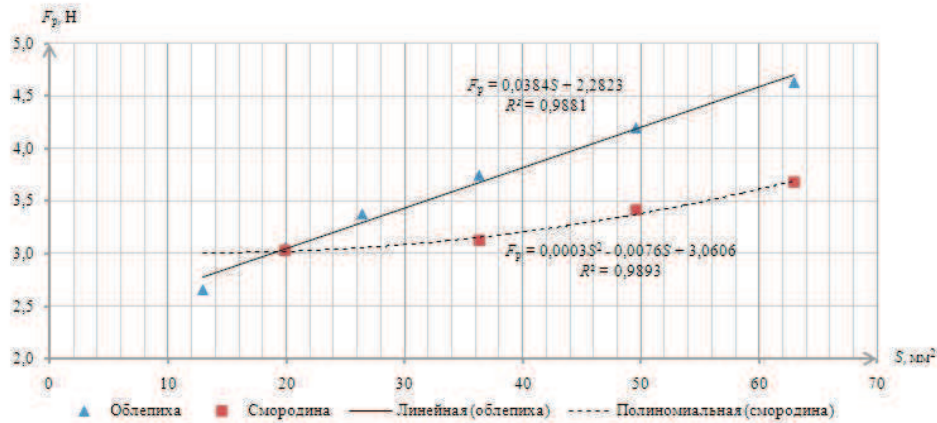


Рис. 1. Зависимости математического ожидания усилия раздавливания F_p ягод облепихи и черной смородины от площади S раздавливающего плунжера

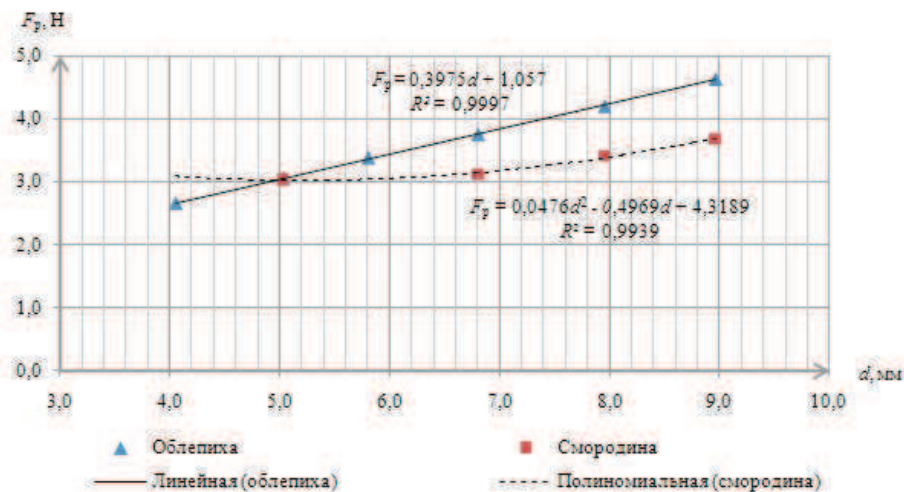


Рис. 2. Зависимости математического ожидания усилия раздавливания F_p ягод облепихи и черной смородины от диаметра d раздавливающего плунжера

звояет определять предел прочности кожицы ягод при неизвестной площади пятна контакта плунжера и ягоды, т.е. когда площадь давящей плоскости плунжера больше пятна контакта.

Параметры прочности исследуемых ягод облепихи и черной смородины имеют отклонение от средних значений при доверительной вероятности 0,95 до ± 15 и ± 12 % соответственно.

При раздавливании плунжерами диаметром 4 и 5 мм характер разрушения кожицы отличается от характера разрушения при раздавливании плунжерами большего диаметра, а именно: кожица не трескается, а разрывается так, что линия разрыва имеет форму окружности, идентичной форме торца плунжера.

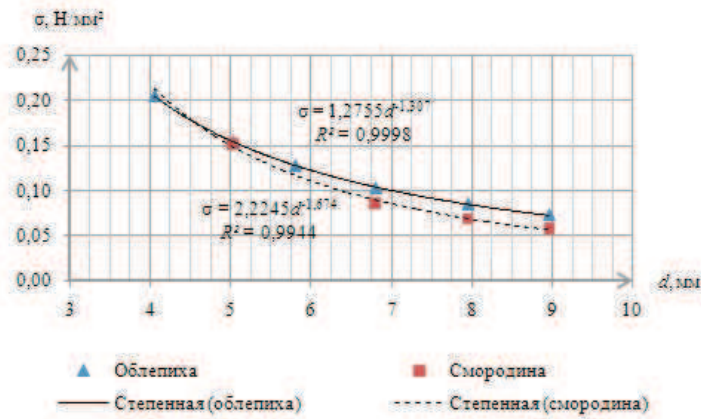


Рис. 3. Зависимости математического ожидания предела прочности у кожицы ягод облепихи и черной смородины от диаметра d раздавливающего плунжера

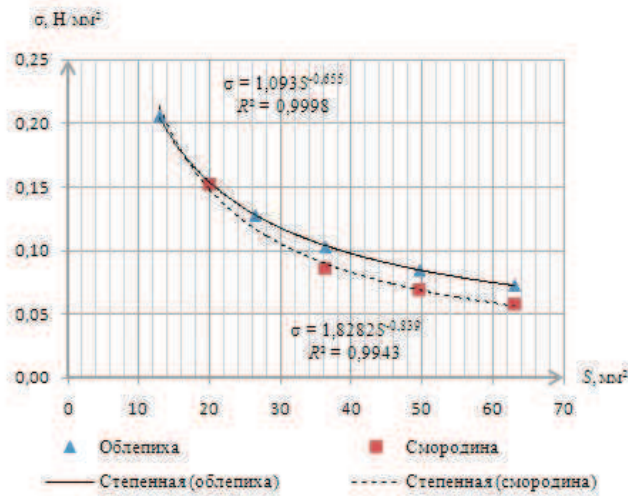


Рис. 4. Зависимости математического ожидания предела прочности у кожицы ягод облепихи и черной смородины от площади S раздавливающего плунжера

В диапазоне измерения силы от 0,10 до 7,35 Н смещение точки приложения измеряемой силы от оси симметрии силовводящего элемента до 30 мм не влияет на результат ее измерения. При измерении силы 9,80 Н дополнительная погрешность составляет 0,01 Н при смещении на 20 и 30 мм.

Увеличение погрешности измерения силы в диапазоне от 0,49 до 9,80 Н при скорости перемещения нагружающего элемента (образцовых гирь) до 0,013 м/с по сравнению с измерениями силы в статическом режиме составляет от 0,01 до 0,04 Н соответственно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследований были использованы при разработке экспериментального образца микропроцессорного прибора «ПЛОДТЕСТ-2» для измерения прочностных свойств ягод. При этом учитывали не только опыт использования технических решений индикатора усилия отрыва ягод и индикатора усилия раздавливания ягод [12–16], ранее созданных в Сибирском физико-техническом институте аграрных проблем, но и новые принципы измерения [17–19], объединяющие и расширяющие функции этих приборов. В связи с этим в одном приборе удалось совместить функции определения усилия отрыва, усилия раздавливания, предела прочности кожицы и коэффициента относительной прочности ягод. Проведенные испытания прибора в диапазоне измерений силы от 0,10 до 6,00 Н показали высокую точность измерения (пределы систематической составляющей и предел среднеквадратического отклонения случайной составляющей основной абсолютной погрешности измерения силы соответственно $\pm 0,008$ и $\pm 0,009$ Н).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Михайлова Н.В. Методика оценки сортов облепихи для машинной уборки урожая способом вибрации: метод. реком. – Барнаул: РИО АГАУ, 2014. – 15 с.
2. Минеев В.В., Алейников А.Ф., Золотарёв В.А. Совершенствование средств измерения для промышленного производства облепихи // Сб. научн. докл. ВИМ. – 2013. – Т. 2. – С. 346–349.
3. Алейников А.Ф. Перспективы разработок средств измерений в садоводстве // Облепиха – на пути объединения науки и производства: материалы 4-й междунар. конф. – 2009. – С. 106–108.
4. Концепция развития садоводства Российской Федерации на период до 2025 г.: [проект] / под ред. акад. И.М. Куликова. – М.: ВСТИСП, 2010. – 47 с.
5. Родиков С.А. Методы и устройства анализа зрелости яблок. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. – 216 с.
6. Алейников А.Ф. Информационное обеспечение сельскохозяйственной науки: итоги, перспективы // Сиб. вестн. с.-х. науки. – 2004. – № 4 (154). – С. 85–89.
7. Алейников А.Ф. Перспективы приборного обеспечения аграрной науки // Аграрная наука – сельскому хозяйству: материалы IV междунар. науч.-практ. конф. – 2009. – С. 434–438.
8. Алейников А.Ф. Проблемы и перспективы приборного и информационного обеспечения сельскохозяйственной науки // Социально-экономическое развитие села и информационные технологии в науке и сельскохозяйственном производстве: материалы годовичного общесоб. собрания и научной сессии СО Россельхозакадемии (28–29 января 2009 г.). – 2009. – С. 170–179.
9. Алейников А.Ф., Минеев В.В., Золотарев В.А., Хабаров С.Н. Измерение усилия отрыва ягоды облепихи // Достижения науки и техники АПК. – 2010. – № 10. – С. 78–80.
10. Минеев В.В., Алейников А.Ф., Золотарев В.А., Морозов В.Б. Контроль качества посадочного материала – основа рентабельности и энергосбережения промышленного садоводства // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве: материалы междунар. науч.-техн. конф. – 2014. – Т. 2. – С. 64–69.
11. Минеев В.В., Алейников А.Ф., Золотарёв В.А., Фурзиков В.М., Ёлкин О.В. Микропроцессорный прибор для измерения физических величин, характеризующих прочностные свойства ягод // Сиб. науч. вестн. – 2015. – № 19. – С. 72–82.
12. Алейников А.Ф., Минеев В.В. Силоизмерительный прибор для промышленного садоводства // Датчики и системы. – 2012. – № 6. – С. 39–42.
13. Минеев В.В., Алейников А.Ф., Золотарёв В.А. Оценка качества пищевого сырья садовых культур по усилию раздавливания их плодов // Пища. Экология. Качество: труды VIII междунар. науч.-практ. конф. – 2011. – С. 159–160.
14. Алейников А.Ф. Тенденции развития средств измерения для исследований сельскохозяйственных объектов // Методы и технические средства исследований физических процессов в сельском хозяйстве: тр. СибФТИ. – Новосибирск, 2011. – С. 13–18.

15. Минеев В.В., Алейников А.Ф., Золотарёв В.А., Фурзиков В.М. Инструментальный контроль технологии выращивания пищевого сырья облепихи // Методы и технические средства исследований физических процессов в сельском хозяйстве: тр. СибФТИ. – Новосибирск, 2011. – С. 38–43.
16. Минеев В.В., Алейников А.Ф., Золотарёв В.А. Применение методов силоизмерительной техники при промышленном производстве облепихи // Сиб. вестн. с.-х. науки. – 2010. – № 1 – С. 79–85.
17. Пат. № 2473060, МПК G01L 1/00 (Российская Федерация). Прибор для измерения усилия отрыва ягод / В.В. Минеев, В.А. Золотарев, А.Ф. Алейников, В.М. Фурзиков. – № 2011123048/28; заявл. 07.06.2011; опубл. 20.01.2013; Бюл. № 2.
18. Пат. № 2472123, МПК G01L 1/00 (Российская Федерация). Прибор для измерения усилия раздавливания ягод / В.В. Минеев, В.А. Золотарев, А.Ф. Алейников, В.М. Фурзиков; № 2011128988/28; заявл. 13.07.2011; опубл. 10.01.2013; Бюл. № 1.
19. Пат. № 2538401, МПК A01G 7/00, A01G 1/00, G01L 1/00 (Российская Федерация). Прибор для определения прочностных характеристик ягод / В.В. Минеев, В.А. Золотарев, А.Ф. Алейников, В.Б. Морозов, А.С. Тихонов, В.М. Фурзиков; № 2013106086/13; заявл. 12.02.2013; опубл. 10.01.2015; Бюл. № 1.

Поступила в редакцию 28.06.2016

**A.F. ALEJNIKOV^{1,2}, Doctor of Science in Engineering, Head Researcher,
V.V. MINEYEV, Senior Researcher**

¹Siberian Physical-Technical Institute of Agrarian Problems, SFSCA RAS

Krasnoobsk, Novosibirsk Region, 630501, Russia

²Novosibirsk State Technical University

20, Karl Marx Ave, Novosibirsk, 630073, Russia

e-mail: fti2009@yandex.ru

MEASUREMENT OF MECHANICAL PROPERTIES OF SEA BUCKTHORN AND BLACK CURRANT BERRIES

There is grounded a need to determine physical-mechanical properties of berries when harvested: tearaway force, crushing force, tensile strength of the berry skin, and relative skin strength factor. The tensile strength of the berry skin can not be determined by the existing instruments because the contact area between the plunger and the skin surface is unknown in this case. At the moment of tearing away and crushing of a berry, the force measured sharply decreases and unloads the device for berry capture and crushing, which makes free oscillations due to its elastic properties and weight, and creates parasitic forces perceived by the sensor. A special force-measuring stand was developed to determine features of measuring mechanical properties of berries. There is given the method for studying the crushing force and tensile strength of the berry skin depending on the diameter and the contact area between the plunger and the skin surface. The dependences between the crushing force and tensile strength of the berry skin and the diameter and the area of crushing plunger were obtained from berries of Altaiskaya cultivar of sea buckthorn and Zdorovye cultivar of black currant that were ripe and uniform in their sizes. The dependences are well approximated by linear, polynomial and power functions that allow determining the tensile strength of the berry skin when the contact area between the plunger and the berry is unknown. The research results obtained by means of the force-measuring stand were used for developing a pilot microprocessor-based device PLODTEST-2 to measure tearaway force, crushing force, tensile strength of the berry skin, and relative skin strength factor. The tests of the device in a force measurement range from 0.10 to 6.00 N have shown the high accuracy of measurement. The limits of the systematic component and the mean square deviation of the random component of the main absolute error in force measurements are ± 0.008 and ± 0.009 N, respectively.

Keywords: strength of the berry skin, crushing, tearaway force, microprocessor-based device PLODTEST-2.