Научная статья

УДК 631.354.026
https://doi.org/10.24412/2949-2211-2023-1-2-134-142

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СИЛОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ РАБОЧИХ ОРГАНОВ МОЛОТИЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ КОМБАЙНА НА ЗЕРНО СОИ

Ирина Михайловна Присяжная, Серафима Павловна Присяжная

Всероссийский научно-исследовательский институт сои, г. Благовещенск. Амурская область, Россия, irenpris@mail.ru, PSP@vniisoi.ru

Аннотация. В увеличении производства сои важная роль отводится снижению косвенных потерь от дробления, особенно при уборке и обработке урожая, так как содержание дроблёного и микроповреждённого зерна снижает посевные и продовольственные качества сои. Чтобы выяснить, какую величину силового воздействия можно считать допустимой для зерна сои, теоретически установлена зависимость между прочностью зерна, действующими на него усилиями и возникающими в нем деформациями. Приведена диаграмма сжатия зерна сои и установлена разрушающая деформация, а также нагрузки, действующие на него. Зерно сои всех сортов при некотором допущении имеет форму шара, коэффициент сферичности его изменяется от 0,931 до 0,755. Модуль упругости и предел прочности зерна сои по сортам при влажности 6,5% изменяется от 290,71 до 132,02 кг/см^2, и с увеличением влажности уменьшается в 1,5…2 раза. Классическая теория соударения твёрдых тел Ньютона не позволяет определить величину сил при ударе, так как эта теория ограничивается только установлением первоначальных и конечных скоростей соударяющихся тел. Внутренние закономерности процесса удара, контактные силы, продолжительность удара, величина деформации при ударе остаются неизученными. Полученные зависимости силы удара зерна и рабочих органов молотильных и транспортирующих устройств зависят от модуля упругости зерна и рабочего органа, скорости взаимодействия, массы зерна и кривизны поверхности в зоне контакта и позволяют определять критическую силу удара, разрушающую зерно сои при силовом контакте. Зная разрушающую нагрузку для зерна сои можно не допускать разрушающие режимы работы рабочих органов молотильных и транспортирующих устройств комбайна. На основе достоверно полученного уравнения регрессии построена поверхность откликов, определяющих силу воздействия рабочих органов молотильного барабана в функции от изменяющейся скорости (от 8.0 до 20 м/с) и массы зерна (от 15 до 35 г), которая на сорте Сентябринка возрастает до 10 Н.

Ключевые слова: соя, зерно, повреждаемость, дробление, влажность, сорт, масса 1000 семян, деформация, статическая, динамическая прочность, модуль упругости.

Благодарности. Авторы выражают благодарность доктору биологических наук, академику РАН В.А. Тильбе и кандидату сельскохозяйственных наук В.Л. Махонину за помощь и советы при проведении исследования.

Для цитирования: Присяжная И. М., Присяжная С. П. Моделирование процесса силового воздействия рабочих органов молотильных устройств комбайна на зерно сои // Агронаука. 2023. Том 1. № 2. С. 134–142. https://doi.org/10.24412/2949-2211-2023-1-2-134-142.

Original article

MODELING THE PROCESS OF FORCE INTERACTION OF SOYBEAN GRAIN WITH THRESHING ELEMENTS OF COMBINE HARVESTER

Irina M. Prisyazhnaya, Serafima P. Prisyazhnaya

All-Russian Scientific Research Institute of Soybean, Blagoveshchensk, Amur region, Russia, irenpris@mail.ru, PSP@vniisoi.ru

Abstract. Reducing indirect losses from crushing, especially during harvesting and processing, plays an important role in increasing soybean production because the content of crushed and micro-damaged grains reduces the sowing and food quality of soybeans. To find out how much force can be considered acceptable for soybean grain, the dependence between the strength of the grain, the forces acting on it and the deformations arising in it is theoretically established. Diagram of soybean grain compression is given and destructive deformation is indicated, as well as loads acting on it. Soybean grain of all varieties, under some assumption, has a ball shape, its sphericity coefficient varies from 0.931 to 0.755. The modulus of elasticity and the ultimate strength of soybean grain at a moisture of 6.5% varies from 290.71 to 132.02 kg/cm^2, and with an increase in moisture decreases by 1.5... 2 times. Newton's classical theory of solid-body collision does not allow us to determine the magnitude of collision forces, since this theory is limited only to establishing the initial and final velocities of the colliding bodies. The internal regularities of the collision process, contact forces, collision duration, and the magnitude of deformation during the collision remain unstudied. The obtained dependences of the collision force of grain and threshing and transporting elements depend on the modulus of elasticity of grain and working element, speed of interaction, grain mass and surface curvature in the contact zone and allow to determine the critical force of collision, destroying soybean grain at forceful contact. Knowing the destructive load for soybeans it is possible to avoid destructive modes of operation of threshing and transporting elements of the combine harvester. On the basis of the reliably obtained regression equation, a surface of responses was built that determine the force of action of the threshing drum working elements in a function of changing speed (from 8.0 to 20 m/s) and the grain mass (from 15 to 35 g), which increases in Sentyabrinka variety to 10 N.

Keywords: soybean, grain, damageability, crushing, moisture, variety, weight of 1000 seeds, deformation, static, dynamic strength, modulus of elasticity.

For citation: Prisyazhnaya IM, Prisyazhnaya SP. Modelirovanie processa silovogo vzaimodejstviya zerna soi s rabochimi organami molotil'nyh ustrojstv kombajna [Modeling the process of force interaction of soybean grain with threshing elements of combine harvester]. *Agronauka. – Agroscience*. 2023; 1; 2: 134–142. (in Russ.). https://doi.org/10.24412/2949-2211-2023-1-2-134-142.

Введение

Соя, обладая высоким содержанием белка и жира, является востребованной экономически эффективной культурой, так как продукты её переработки находят широкое применение в пищевой промышленности и животноводстве [1–3].

Качество семян – важнейший фактор повышения урожайности сельскохозяйственных культур, в том числе и сои. Только при высоких биологических и качественных показателях семян полностью используются потенциальные возможности сортов [4–6].

Цель исследований – моделирование процессов силового воздействия рабочих органов молотильных устройств комбайна на зерно сои в процессе уборки урожая, заключающееся в определении допустимой силы удара зерна с рабочими органами этих устройств.

Во всех отечественных и зарубежных комбайнах производительность, потери и механическое повреждение (дробление) зерна в первую очередь определяют совершенство молотильно-сепарирующего устройства (МСУ). Совершенствование классической схемы молотильного устройства идёт в направлении увеличения его параметров по ширине и диаметру молотильных барабанов, активизации работы подбарабанья и отбойного битера, что приведёт, наряду с увеличением производительности, к дополнительным потерям от дробления при обмолоте зерна сои [7–13].

Классическая теория соударения твёрдых тел Ньютона не позволяет определить величину силы при ударе, так как она ограничивается только установлением первоначальных и конечных скоростей, соударяющихся тел. Внутренние закономерности процесса удара, контактные силы, продолжительность удара, величина деформации при ударе остаются неизученными. В качестве основной гипотезы при учёте местных деформаций при ударе принимается гипотеза, которая предполагает, что связь между контактным давлением и местным смятием такая же, как и в статических условиях. Сила удара при упругопластическом деформировании соударяемых тел определяется с позиции контактной задачи теории упругости [14–16].

Методы исследований

Определение критической силы соударения зерна с рабочими органами молотильных устройств проводилось при условии силового статического нагружения зерна сои.

Для определения статической деформации сжатия использовали динамометр ДОСМ-3-0,05. Дробление и микроповреждение семян сои определяли согласно ГОСТ 12036-85 «Семена основной культуры».

Механическое повреждение зерна сои представляет собой местные или общие разрушения его как единой и сложной биологической системы. По степени и видам эти разрушения различны и снижают полевую всхожесть и урожайность (дроблёное зерно сои всходов не даёт, микроповрежденное – снижает всхожесть на 70%).

Для определения количества дроблёного зерна из среднего образца массой 2 кг, отобранного в соответствии с ГОСТ 12037, с использованием делителя, выделяют две навески по 100 г. Из каждой навески отбирают дроблёные по видам, взвешивают с точностью до ± 0,01 г и вычисляют в процентном отношении к весу всего зерна. Эта часть зерна не относится к семенам и должна быть отсортирована при подработке. Для определения микроповреждений из каждой навески отбирают по 200 зёрен подряд без выбора (всего по среднему образцу – 400 зёрен). Зёрна каждой сотни просматривают при помощи бинокулярного микроскопа 8-кратного увеличения. Повреждённые семена взвешиваются с точностью до ± 0,01 г. Результаты анализа каждой сотни семян записывают в журнал и окончательный результат получают после анализа четырёх сотен зёрен.

Исходным материалом для изучения прочности послужило зерно сои дальневосточных (Амурская область) и западных сортов (Краснодарский край и Курская область), а также зерно сои сортов иностранной селекции (КНР, Франция, Канада, Япония и США), имеющих различное эколого-географическое происхождение, но выращенных на опытном поле Всероссийского НИИ сои в 2021 году. Масса 1000 семян всех изучаемых сортов варьировала от 100,8 до 322,4 г, их длина – от 6,21 до 9,31 мм, ширина – от 5,74 до 8,49 мм и толщина – от 7,46 до 4,25 мм. При некотором допущении зерно сои имеет форму шара, коэффициент сферичности которого изменяется от 0,931 до 0,755.

Результаты и обсуждение

Рабочие органы комбайна и транспортирующих устройств поточных линий при подработке должны быть спроектированы так, чтобы при их работе наибольшие напряжения, возникающие в зерне, были меньше тех, при которых семена сои разрушаются или получают остаточные деформации. Разрушение зерна происходит в результате нагружения его выше естественных пределов прочности. Напряжения, обеспечивающие сохранение формы и первоначальных размеров зерна, должны быть с учётом коэффициента безопасности ниже тех предельных напряжений, при которых происходит разрушение зерна или возникают пластические и остаточные деформации.

Чтобы выяснить, какую величину напряжений можно считать допустимой для зерна сои, опытным путём установлена зависимость между прочностью зерна, действующими на него усилиями и возникающими в нем остаточными деформациями на основе диаграммы сжатия зерна сои (рисунок 1).

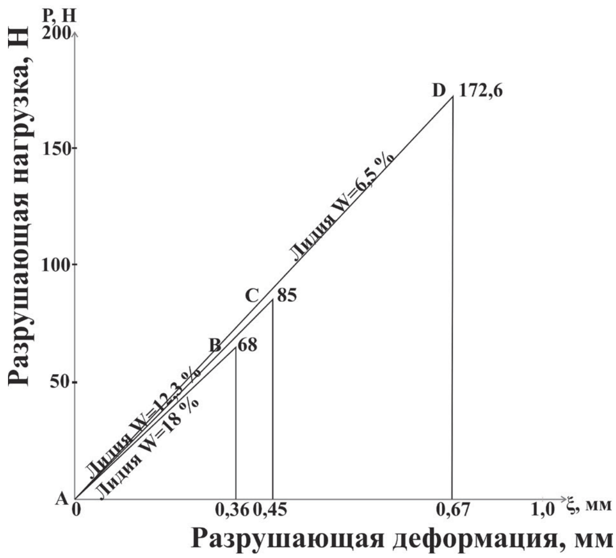


Рисунок 1 – Диаграмма сжатия зерна сои сорта Лидия

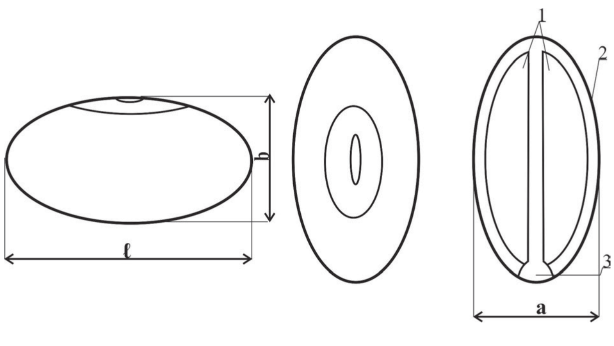
На диаграмме видно, что у сухого зерна сои (W=6,5%), а также зерна кондиционной (W=12,3%) и повышенной влажности (W=18%), чётко выражен предел пропорциональности (на диаграмме отрезки AD, AC, AB), которые совпадают с пределом статической прочности зерна сои. До момента появления трещины (точки B, C и D) деформации зерна растут прямо пропорционально нагрузкам. При влажности зерна равной 18 и 12,3% трещина оболочки появляется при меньшей статической нагрузке, на диаграмме (точки B и C).

Устойчивость зерна сои к механическим повреждениям имеет сортовые особенности и обусловлена массой зерна, линейной размерностью и шаровидной формой, представленной коэффициентом сферичности.

Статическая нагрузка, приложенная к зерну при сжатии его между плоскими стальными поверхностями, в перпендикулярном направлении к плоскости разъёма семядолей, разрушающая зерно сои сорта Лидия при влажности 6,5…18%, составила от 68,0 до172,6 Н.

Зерно сои (рисунок 2) покрыто плотной кожурой (семенной оболочкой 2), защищающей его внутреннюю часть (зародыш 3 и семядоли 1) от разрушения. От массы зерна семядоли составляют около 89,5%, кожура – 7,7% и зародыш – 2,8%. Все составные части зерна сои можно отнести к классу кристаллических материалов с насыщением в своём составе очень малых кристаллических зёрен с системой атомов, образующих кристаллическую решётку. Между соседними частицами зерна (молекулами и атомами) всегда имеются определённые силы взаимодействия – внутренние силы. Они стремятся сохранить зерно как единое целое. Внешние силы, наоборот, стремятся вызвать деформацию зерна. При действии нагрузки деформация зерна сои происходит за счет изменения расположения атомов – их сближения или удаления.

Строение различных по структуре слоёв оболочки сои с продольными и попереч-



1 – семядоли; 2 – семенная оболочка; 3 – зародыш; l –длина; b – ширина; a – толщина сои

Рисунок 2 – Зерно сои в разрезе

ными клетками, обилие капилляров, преобладание в химическом составе оболочки углеводов, подверженных одревеснению, приводят к тому, что сопротивление излому и разрывным усилиям у оболочки невелико, особенно при низкой влажности. Благодаря различному строению клеток отдельных слоёв оболочки, их взаиморасположению, разрывное усилие оболочки у сои меняется более чем в 1,5 раза при изменении направления приложения нагрузки, т.е. оболочка сои обладает анизотропностью прочностных свойств [14–15].

Зерно сои при обмолоте и транспортировке испытывает свободное и несвободное соударение с рабочей поверхностью и сжатие при защемлении не будет разрушено, если прочностные характеристики его будут выше силовых воздействий, которые возникают между ними в результате силового контакта.

Если же силы, действующие со стороны рабочих органов молотильных устройств, превысили этот предел, то после разгрузки форма и размеры зерна сои не восстанавливаются в первоначальном виде, то есть отмечается его повреждение.

Сила удара при упругопластическом деформировании соударяемых тел может быть определена с позиции контактной задачи теории упругости [16]. В таком случае связь между контактной силой P (Н) и сближением центров инерции при ударе α (м) рассчитывается по формуле

$$P = K \cdot \alpha^{3/2}, \qquad (1)$$

где K – коэффициент, зависящий от кривизны поверхностей тел в точке контакта и от свойств материалов.

Зерно сои по форме можно принять за шар с радиусом R (коэффициент сферичности по сортам составляет от 0,931 до 0,755), а реально существующие поверхности молотильных и транспортирующих устройств в подавляющем большинстве рассматриваются как плоскости, цилиндрические поверхности с малым радиусом или острые грани.

Для случая соударения зерна сои с элементами рабочих органов молотильных и транспортирующих устройств коэффициенты K_1 – острая грань и K_2 – плоская поверхность, соответственно, определяются

$$K_1 = \frac{5{,}92 \cdot g \cdot E_1 \cdot E_2 \cdot (R_1 \cdot R_2)^{0,5}}{\left[E_1 \cdot (1-\mu_2^2) + E_2 \cdot (1-\mu_1^2)\right] \cdot (2R_2 + R_1)^{0,5}}, \qquad (2)$$

где E_1 и E_2 – модули упругости зерна сои и рабочего органа, МПа;

R_1 и R_2 – радиусы кривизны зерна и рабочего органа, м;

μ_1 и μ_2 – коэффициенты Пуассона
$\mu = \varepsilon_{попер}/\varepsilon_{прод}$;
g – ускорение свободного падения, м/с^2.

Формула движения центров инерции при ударе зерна и рабочего органа по оси Z имеет вид

$$K_2 = \frac{0{,}47 \cdot E_1 \cdot E_2 \cdot R_1^{0,5}}{E_1 \cdot \left(1-\mu_2^2\right) + E_2 \cdot \left(1-\mu_1^2\right)}, \quad (3)$$

где E_1 и E_2 – модули упругости зерна сои и рабочего органа, МПа;
R_1 и R_2 – радиусы кривизны зерна и рабочего органа, м;
μ_1 и μ_2 – коэффициенты Пуассона
$\mu = \varepsilon_{попер}/\varepsilon_{прод}$;
g – ускорение свободного падения, м/с^2.

Формула движения центров инерции при ударе зерна и рабочего органа по оси Z имеет вид

$$m_1 \frac{d^2 z_1}{dt^2} = -P\left(\alpha_1\right), \quad (4)$$

$$m_2 \frac{d^2 z_2}{dt^2} = P\left(\alpha_2\right), \quad (5)$$

где m_1 и m_2 – масса зерна и рабочего органа, кг.

Окончательное значение величины деформации зерна сои при соударении с острой гранью и плоской поверхностью находят по формулам

$$\alpha_1 = \frac{0{,}536 m^{0,4} \nu^{0,8} \left[E_1\left(1-\mu_2^2\right) + E_2\left(1-\mu_1^2\right)\right]^{0,4} \left(2R_2 + R_1\right)^{0,2}}{g^{0,4} \left(E_1 E_2\right)^{0,4} \left(R_1 R_2\right)^{0,2}}, \quad (6)$$

$$\alpha_2 = \frac{1{,}48 m^{0,4} \nu^{0,8} \left[E_1\left(1-\mu_1^2\right) + E_2\left(1-\mu_2^2\right)\right]^{0,4}}{\left(E_1 E_2\right)^{0,4} R_1^{0,2}}, \quad (7)$$

Сила удара в зоне контакта зерна сои с рабочими органами при упругопластическом деформировании на основании приведённых выше соотношений (1)…(7) определяется по формулам

$$P_1 = \frac{2{,}32 g^{0,9} m^{0,6} \nu^{1,2} \left(R_1 R_2\right)^{0,2}}{\left(2R_2 + R_1\right)^{0,2}} \left[\frac{E_1 E_2}{E_1\left(1-\mu_2^2\right) + E_2\left(1-\mu_1^2\right)}\right]^{0,4}, \quad (8)$$

$$P_2 = 0{,}84 m^{0,6} \nu^{1,2} R_1^{0,2} \left[\frac{E_1 E_2}{E_1(1-\mu_2^2) + E_2(1-\mu_1^2)}\right]^{0,4}, \quad (9)$$

Анализируя полученные формулы (8) и (9) можно отметить, что основные параметры, определяющие силу удара зерна о рабочие поверхности молотильных и транспортирующих устройств комбайна, которые на прямую влияют на величину механических повреждений зерна сои – это скорость соударения зерна сои с рабочими поверхностями, модули упругости зерна и материала рабочих органов, приведённая масса и кривизна поверхности рабочих органов в зоне контакта. Следовательно, снижать силу удара при обработке зерна до оптимальных значений возможно за счет изменения любого из перечисленных параметров или вместе взятых.

Механическое состояние зерна сои характеризуется его статической и динамической прочностью, которые, главным образом, зависят от сорта, влажности, массы 1000 зёрен, формы, строения зерна и других параметров.

При нагрузках зерно сои ввиду особенностей его строения и химического состава интерпретируется упругопластическими деформациями. В результате сжатия его при защемлении, а также при соударении с рабочими органами в контактирующем зерне возникают упругие и пластические деформации. На основе эмпирического закона упругие деформации в зерне в процессе динамического нагружения развиваются независимо от пластических деформаций, поэтому основное усилие на зерно, развивается при контакте за счет его упругого деформирования. В качестве основной гипотезы при учёте местных деформаций при соударении рабочих органов с зерном принимается гипотеза, предполагающая, что связь между контактным давлением и местным смятием при ударе такова же, как и в статических условиях. Исходным положением теории упругости является допущение, что упругое состояние зерна вблизи поверхности удара и в продолжение всего удара весьма близко к тому состоянию равновесия, которое возникало бы в зерне и рабочем органе при медленном их сближении.

В известной теории контактных деформаций тел Герца, пренебрегая колебаниями, возникающими в зерне при ударе, и предполагая, что энергия этих колебаний чрезвычайно мала, и тогда вся кинетическая энергия относительного движения зерна превращается в потенциальную энергию упругих деформаций. А общая сила удара, вызывающая эти деформации зерна, определяется как сумма упругой и пластической составляющей силы удара.

Пластическая составляющая силы удара по своей величине значительно меньше упругой и составляет до 7% от общей силы удара [15, 16]. Учитывая только упругую составляющую силы удара, принимаем её за полную силу динамического нагружения зерна. Напряжения, обеспечивающие сохранение формы и размеров зерна, должны быть ниже тех, при которых отмечается появление остаточных деформаций.

Устойчивость зерна сои к механическим повреждениям имеет сортовые особенности и обусловлена массой зерна, линейной размерностью и шаровидной формой, представленной коэффициентом сферичности.

Статическая нагрузка, приложенная к зерну при сжатии его между плоскими стальными поверхностями, в перпендикулярном направлении к плоскости разъёма семядолей, разрушающая зерно сои при влажности 6,5%, составляла в среднем по изучаемым сортам от 27,64 до 13,03 кг (таблица 1).

Таблица 1 – Модуль упругости зерна сои различных сортов

Название сорта	Коэффициент сферичности	Разрушающая нагрузка, кг	Модуль упругости, МПа
Журавушка	0,832	27,64	392,1
№3-2014 J-35	0,900	26,75	379,2
Овощная	0,793	28,63	409,6
Хонсю	0,888	29,02	411,1
Микавасима	0,931	26,94	382,3
Чародейка	0,875	21,45	304,9
АД-3 Магева	0,898	22,62	320,8
Каната	0,856	23,51	333,4
Киото	0,824	23,81	337,7
Алена	0,943	22,43	318,9
Даурия	0,851	21,54	301,5
Пепелина	0,908	23,53	333,6
Кофу	0,844	19,87	281,8
Сентябринка	0,919	18,57	263,2
Статная	0,896	19,07	270,2
РЖТ Спида	0,800	24,52	347,8
Лидер 10	0,755	17,58	249,1
Лидия	0,847	17,26	241,7
Chico	0,853	14,88	211,8
СК Руса	0,873	14,44	204,1
McCall	0,828	13,03	184,2

Устойчивость зерна сои к механическим повреждениям имеет сортовые особенности и обусловлена массой зерна, линейной размерностью и шаровидностью формы, определяемой коэффициентом сферичности.

Нагрузка, после достижения которой нарушается пропорциональность между приращением нагрузки и относительным сжатием (деформацией) зерна сои, является соответствующей пределу пропорциональности. Коэффициент пропорциональности Е, связывающий нормальное напряжение и относительное сжатие, является модулем упругости зерна сои при сжатии. Физически он характеризует сопротивляемость зерна сои упругой деформации. По результатам опытов, на основе закона Гука, определена величина модуля упругости зерна сои. Из таблицы 1 видно, что модуль упругости и предел прочности сои, характеризующий способность зерна сопротивляться упругому деформированию, по сортам при влажности 6,5% изменяется от 411,1 до 184,2 МПа, который с увеличением влажности уменьшается в 1,5...2 раза.

Влажность зерна существенно сказывается на его механической повреждаемости. При свободном соударении зёрен с металлической поверхностью менее всего подвержено разрушению зерно повышенной влажности. При скорости удара до 20 м/с зерно сои сорта Лидия с влажностью 6,5% повреждается на 100%, а с влажностью 12,3...78% зерна, в то время как с влажностью 18% повреждено только 36% зерна. Критическая скорость удара, при которой происходит разрушение зерна (дробление) при соударении с металлической поверхностью у сортов Даурия и Алена при влажности 6,5% составляет 25,5 и 22,5 м/с. У сухого зерна смещение разрушения в сторону больших скоростей и снижение повреждения при увеличении влажности можно пояснить тем, что с увеличением модуля упругости сила удара увеличивается и распределяется на меньшей площади контакта, тем самым увеличивая удельное контактное давление, определяющее степень повреждаемости зерна. При увеличении влажности увеличивается пластичность зерна и тогда при взаимодействии с плоскими рабочими органами увеличивается площадь контакта и критические нагрузки сухого зерна менее опасны для влажного.

Полученные теоретические зависимости (8), (9) и модули упругости зерна сои различных сортов позволяют определить силу удара при обмолоте зерна с рабочими органами комбайна, если рассматривать рабочие поверхности как плоские (уравнение 9).

В процессе уборки сои комбайном «Енисей-1200» при постоянном режиме обмолота первым барабаном равном 300 мин-1 в результате проведённых расчётов было составлено уравнение регрессии:

$$P = 6{,}54 + 1{,}9X_1 + 2{,}89X_2 - 1{,}37X_2^2, \qquad (10)$$

и построены поверхности откликов совместного действия силы удара от скорости воздействия плоской рабочей поверхности молотильных устройств комбайна «Енисей-1200» и массы обмолачиваемого зерна (рисунок 3D).

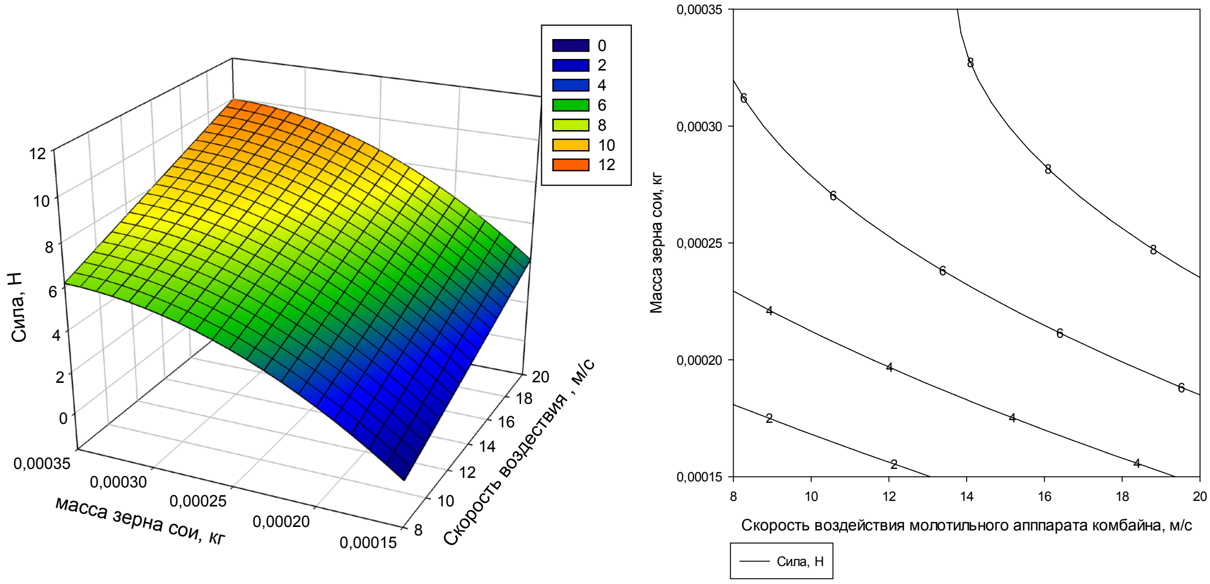


Рисунок 3D – Поверхность отклика параметров силы удара при обмолоте зерна первым и вторым молотильными барабанами комбайна «Енисей-1200»

Анализ графика показывает, что сила воздействия бичей первого молотильного барабана при обмолоте составляет от 0,5 до 6 Н, обеспечивает качественный обмолот зерна сои первым молотильным барабаном и не особенно опасна для разрушения зерна. При обмолачивании соевого вороха вторым молотильным барабаном, скорость воздействия рабочих органов на зерно возрастает до 20 м/с, соответственно возрастает и сила удара рабочих органов при обмолачивании, особенно на крупное зерно (до 10 Н), которая является опасной для зерна при несвободном соударении.

Выводы:

1. Полученные характеристики модуля упругости зерна сои различных сортов и разрушающей нагрузки на зерно при обмолоте сои являются неодинаковыми и зависят от сорта сои, влажности зерна, коэффициента сферичности, массы 1000 зёрен.

2. Устойчивость зерна сои к механическим повреждениям во многом предопределяется его влажностью. При обработке зерна с кондиционной влажностью 12...14% отмечается минимум повреждений. Механические повреждения увеличиваются при обработке как сухого (при W=8%), так и влажного (W=18%) зерна сои, однако меняется вид повреждений. Сухие зёрна от удара и защемления разрушаются. В них содержится большое количество мелкодроблёных, разделённых на семядоли (половинки), с отбитой частью семядоли и выбитым зародышем, а также с микроповреждениями в виде трещин оболочки и семядолей. Влажные семена при нагрузке деформируются, и в результате общую массу повреждённых семян составляют сплющенные, трещиноватые, с вмятинами и срывом оболочки [3–5].

3. Моделирование процесса удара зерна сои с рабочей поверхностью молотильных устройств с позиций контактной задачи теории упругости позволяет определять величину силы удара при работе молотильных устройств комбайна, разрабатывать и создавать устройства, предотвращающие и снижающие дробление зерна.

Список источников

1. Фокина Е. М., Разанцвей Д. Р. Перспективы использования коллекционного материала сои в селекционных исследованиях Приамурья // Дальневосточный аграрный вестник. 2019. Вып. 2 (50). С. 64–70. DOI : 10.24411/1999-6837-2019-12022

2. Фокина Е. М., Беляева Г. Н., Титов С. А. Новые сорта сои для дальневосточного региона // Дальневосточный аграрный вестник. 2020. №3(55). С. 68–75. DOI : http://doi.org/10.24411/1999-6837-2020-13035

3. Фокина Е. М., Беляева Г. Н., Разанцвей Д. Р. Признаковая коллекция сои как основа для создания сортов нового поколения // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. 2020. № 4. С. 86–92. DOI : http://doi.org/10.37102/08697698.2020.212.4.014

4. Синеговская В. Т., Фокина Е. М. Селекция сои как инструмент решения задач импортозамещения в Дальневосточном федеральном округе // Труды кубанского государственного аграрного университета. 2018. № 72. С. 328–331.

5. Система земледелия Амурской области / под общ. ред. д-ра с.-х. наук, проф. Тихончука П.В. Благовещенск: Изд-во Дальневосточного ГАУ, 2016. 570 с., (4) с., (1) л. карта.

6. Тильба В. А., Синеговская В. Т., Фоменко Н. Д. Технология возделывания сои в Амурской области: методические рекомендации. Благовещенск, 2009. 72 с.

7. Кочегура А. В., Щегольков А. В., Зима Д. Е. Селекция сортов сои разных направлений использования для регионов России // APK NEWS. 2018. № 8. С. 16–19.

8. Катюк А. И., Зуев Е. В., Анисимкина Н. В. Источники хозяйственно ценных признаков для селекции сои в условиях лесостепной зоны Среднего Поволжья // Масличные культуры. 2016. Вып. 3 (167). С. 22–26.

9. Соя на Дальнем Востоке / А. П. Ващенко [и др.]; под науч. ред. А. К. Чайка; Россельхозакадемия, ДВ РНЦ, Приморский НИИСХ. Владивосток: Дальнаука, 2014. 435 с.

10. Каталог сортов сои / Е. М. Фокина, Г. Н. Беляева, М. О. Синеговский, В. Т. Синеговская, О. О. Клеткина; под общей редакцией академика РАН В. Т. Синеговской // ФГБНУ ФНЦ ВНИИ сои. Благовещенск: ООО «ИПК «ОДЕОН», 2021. 69 с.

11. 100 вопросов и ответов о возделывании сои (рекомендации для руководителей и специалистов сельскохозяйственных предприятий) / под общей ред. М. О. Синеговского. ООО «ИПК «Одеон», 2021. 79 с.

12. Каталог сортов сои селекции Всероссийского НИИ сои: коллективная научная монография / под общей редакцией чл.–корр. д–ра с.–х. наук В. Т. Синеговской. Благовещенск, 2015. 95 с.

13. Технологии возделывания сои / РосАгроХим, ГНУ ВНИИ сои, ГНУ ДальНИИМЭСХ. Москва, 2010. 46 с.

14. Гольдсмит В. Удар и контактные явления при средних скоростях. Физика быстропротекающих процессов. Москва : Мир, 1971. С. 153 –203.

15. Контактные задачи теории упругости для неоднородных сред / С. М. Айзикович, В. М. Александров, А. В. Белоконь [и др.]. Москва : Физматлит, 2006. 240 с.

16. Штаерман И.Я. Контактная задача теории упругости. Москва–Ленинград : Гостехиздат, 1949. 270 с.

References

1. Fokina EM, Razantsvei DR. Perspektivy ispol'zovaniya kollektsionnogo materiala soi v selektsionnykh

issledovaniyakh Priamur'ya [Prospects for the use of soybean collection material used in breeding studies in Priamurye (Amur region)]. *Dal'nevostochnyi agrarnyi vestnik. – Far Eastern Agrarian Bulletin*, 2019 ; 2(50) : 64–70. (in Russ.). DOI : 10.24411/1999-6837-2019-12022

2. Fokina EM, Belyaeva GN, Titov SA. Novye sorta soi dlya dal'nevostochnogo regiona [New soybean varieties for the Far East region]. *Dal'nevostochnyi agrarnyi vestnik. – Far Eastern Agrarian Bulletin*, 2020 ; 3(55) : 68–75. DOI : http://doi.org/10.24411/1999-6837-2020-13035
3. Fokina EM, Belyaeva GN, Razantsvei DR. Priznakovaya kollektsiya soi kak osnova dlya sozdaniya sortov novogo pokoleniya [Signature collection of soybean as a basis for creating new generation varieties]. *Vestnik Dal'nevostochnogo otdeleniya Rossiiskoi akademii nauk. – Bulletin of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences*, 2020 ; 4 : 86–92. (in Russ.). URL : http://doi.org/10.37102/08697698.2020.212.4.014
4. Sinegovskaya VT, Fokina EM. Selektsiya soi kak instrument resheniya zadach importozameshcheniya v Dal'nevostochnom federal'nom okruge [Soybean breeding as a tool for solving problems of import substitution in the Far Eastern Federal District]. *Trudy kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – Scientific papers of the Kuban State Agrarian University*, 2018 ; 72 : 328–331. (in Russ.).
5. *Sistema zemledeliya Amurskoi oblasti*; pod obshch. red. d-ra s.-kh. nauk, prof. P. V. Tikhonchuka P.V. [*The system of agriculture of the Amur region*; Tikhonchuk PV (eds.)] Blagoveshchensk: Izd-vo Dal'nevostochnogo GAU, 2016. – 570 p. (in Russ.).
6. Til'ba VA, Sinegovskaya VT, Fomenko ND. *Tekhnologiya vozdelyvaniya soi v Amurskoi oblasti: metodicheskie rekomendatsii* [*Technology of soybean cultivation in the Amur region: guidelines*]. Blagoveshchensk, 2009. 72 p. (in Russ.).
7. Kochegura AV, Shchegol'kov AV, Zima DE. *Selektsiya sortov soi raznykh napravlenii ispol'zovaniya dlya regionov Rossii* [*Breeding soybean varieties for different areas of use for Russian regions*]. APK NEWS, 2018 ; 8 : 16–19. (in Russ.).
8. Katyuk AI, Zuev EV, Anisimkina NV. Istochniki khozyaistvenno tsennykh priznakov dlya selektsii soi v usloviyakh lesostepnoi zony Srednego Povolzh'ya [Sources of economically valuable traits for soybean breeding in the conditions of the forest-steppe zone of the Middle Volga]. *Maslichnye kul'tury. – Oil crops*. 2016 ; 3 (167) : 22–26. (in Russ.).
9. Vashchenko AP, et al., Chaika AK (Eds.) *Soya na Dal'nem Vostoke* [*Soya in the Far East]*. Vladivostok: Dal'nauka, 2014. 435 p. (in Russ.).
10. Fokina EM, Belyaeva GN, Sinegovskii MO., Sinegovskaya VT, Kletkina OO. Katalog sortov soi; pod obshchei redaktsiei akademika RAN V. T. Sinegovskoi [Soybean variety catalog; Sinegovskaya VT (eds.)]. Blagoveshchensk: OOO "IPK "ODEON", 2021. 69 p. (in Russ.).
11. 100 voprosov i otvetov o vozdelyvanii soi (rekomendatsii dlya rukovoditelei i spetsialistov sel'skokhozyaistvennykh predpriyatii); pod obshchei red. M. O. Sinegovskogo [100 questions and answers about soybean cultivation (recommendations for managers and specialists of agricultural enterprises); Sinegovskij MO (eds.)]. Blagiveshchensk : OOO "IPK "Odeon", 2021. 79 p. (in Russ.).
12. *Katalog sortov soi selektsii Vserossiiskogo NII soi*: kollektivnaya nauchnaya monografiya / pod obshchei redaktsiei chl.–korr. d–ra s.–kh. nauk V. T. Sinegovskoi [*Catalog of soybean varieties bred by the All-Russian Soybean Research Institute*: collective scientific monograph; Sinegovskaya VT (eds.)]. Blagoveshchensk, 2015. 95 p. (in Russ.).
13. *Tekhnologii vozdelyvaniya soi ; ROSAGROKHIM, GNU VNII SOI, GNU DAL'NIIMESKH* [*Soybean cultivation technologies*]. Moscow, 2010. 46 p. (in Russ.).
14. Gol'dsmit V. *Udar i kontaktnye yavleniya pri srednikh skorostyakh. Fizika bystroprotekayushchikh protsessov* [*Impact and contact phenomena at medium speeds. Physics of fast processes*]. Moscow : Mir, 1971. P. 153 –203. (in Russ.).
15. Aizikovich SM, Aleksandrov VM, Belokon' AV., et al. Kontaktnye zadachi teorii uprugosti dlya neodnorodnykh sred [Contact problems of elasticity theory for inhomogeneous media]. Moscow : Fizmatlit, 2006. 240 p. (in Russ.).
16. Shtaerman IYa. Kontaktnaya zadacha teorii uprugosti [Contact problem of elasticity theory]. Moscow–Leningrad : Gostekhizdat, 1949. 270 p (in Russ.).

Информация об авторах

И.М. Присяжная – канд. техн. наук, доцент;
С.П. Присяжная – д-р техн. наук, профессор

Information about the authors

I.M. Prisyazhnaya – Cand. Tech. Sci., Associate Professor;
S.P. Prisyazhnaya – Dr Tech. Sci., Professor

Статья поступила в редакцию 10.02.2023; одобрена после рецензирования 11.05.2023; принята к публикации 15.05.2023

The article was submitted 10.02.2023; approved aftee reviewing 11.05.2023; accepted for publication 15.05.2023