

Двтор едр,
М 18

Министерство высшего и среднего специального
образования УССР

— 0 —
ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
им. М. В. ЛОМОНОСОВА

На правах рукописи

Инж. В. П. МАЛАХОВЦЕВ

Пересчет 19.87

ИССЛЕДОВАНИЕ
УПРУГИХ СВОЙСТВ И СИЛ
ПРИ УДАРНОМ НАГРУЖЕНИИ ЗЕРНА ПШЕНИЦЫ

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель доктор технических наук,
профессор Е. Б. ЛУНЦ

Консультант по технологическому оборудованию
кандидат технических наук, доцент Г. Д. ГАЛЬПЕРИН

ОДЕССА
1964

Министерство высшего и среднего специального
образования УССР

—о—

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
им. М. В. ЛОМОНОСОВА

На правах рукописи

Инж. В. П. МАЛАХОВЦЕВ

ИССЛЕДОВАНИЕ
УПРУГИХ СВОЙСТВ И СИЛ
ПРИ УДАРНОМ НАГРУЖЕНИИ ЗЕРНА ПШЕНИЦЫ

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель доктор технических наук,
профессор Е. Б. ЛУНЦ

Консультант по технологическому оборудованию
кандидат технических наук, доцент Г. Д. ГАЛЬПЕРИН



ОДЕССА
1964

ОНАХТ 06.09.12
Исследование упругих



v000715

0.0.715

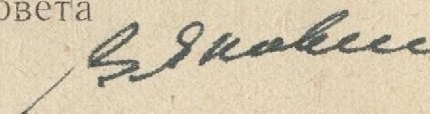
Работа выполнена в Одесском технологическом институте им. М. В. Ломоносова.

Одесский технологический институт имени М. В. Ломоносова направляет Вам автореферат диссертации В. П. Малаховцева, выполненной на тему «Исследование упругих свойств и сил при ударном нагружении зерна пшеницы», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Защита диссертации намечается на „26“ июня 1964 г.

Ваши отзывы и замечания в 2-х экземплярах просим направлять по адресу: г. Одесса, ул. Свердлова, № 112, Одесский технологический институт.

Ученый секретарь Совета
доцент

 (В. А. Яковенко)

Подписано к печати 21.V.64 г. Формат бумаги 60×84/16.

1 печ. л. 1 уч.-изд. л. БР 05158. Зак. № 947. Тираж 150.

Одесская Книжная типография Главполиграфпрома Государственного Комитета Совета Министров УССР по печати. Купальный пер., № 5.

В настоящее время весь советский народ, вдохновленный грандиозными задачами, выдвинутыми новой Программой Коммунистической партии, в упорном труде создает материально-техническую базу коммунизма. На основе дальнейшего развития тяжелой индустрии будут технически перевооружены все другие отрасли народного хозяйства, в том числе мукомольно-крупяная и комбикормовая промышленность. Это требует увеличить производительность труда, интенсифицировать технологические процессы, использовать более совершенные образцы оборудования, автоматизировать производство.

Эффективность работы мукомольных мельниц при прочих равных условиях обуславливается физическими свойствами зерна, его влажностью, прочностью. Изучение физических свойств зерна имеет большое значение для совершенствования процесса измельчения. Расширение познаний о физических свойствах зерна позволит правильно подходить к вопросу о силовом нагружении рабочих органов измельчающих машин и может дать исходные данные для расчета и конструирования измельчителей. Несовершенство приборов, субъективность существующих методов оценки физико-механических свойств зерна не может способствовать научно-техническому обоснованию технологических процессов. Поэтому не менее важной является разработка технологических предпосылок для конструирования приборов и создания методов объективного определения прочностных характеристик зерна.

В свете изложенного, целью настоящей работы является исследование физических свойств зерна пшеницы в статических и динамических условиях нагружения:

- определение усилий, разрушающих зерновку* при статическом нагружении,
- исследование упругих свойств зерновок пшеницы,
- исследование сил и времени ударного нагружения зерновок пшеницы.

Диссертация состоит из четырех глав на 153 страницах с 47 рисунками, перечня использованной литературы и приложения.

* Словом «зерновка» в дальнейшем определяется отдельное зерно в некоторой совокупности зерен пшеницы.

В первой главе рассматривается состояние вопроса по изучению физических свойств зерна. Для получения достоверного результата при опытах с отдельными зернами выявляется необходимость обоснования оптимального количества зерновок в выборочной совокупности, необходимых для одного опыта.

Физические свойства зерна пшеницы длительное время служат предметом исследования. Однако, из-за разобщенности методики, специфики опыта с отдельными зернами, сведения об относительном сжатии в пределах упругости (ϵ_p) противоречивы: по П. А. Афанасьеву (1883 г.) $\epsilon_p = 0,33$, а по Н. В. Врасскому (1930 г.) $\epsilon_p = 0,1 - 0,2$. Опытами по определению силы статического разрушения одной зерновки установлено наличие широкого диапазона значений ее даже в пределах одного сорта (Н. В. Врасский). Изучение физических свойств проводилось с целью охарактеризовать новый сорт пшеницы, либо способ подготовки зерна к помолу (влияние влажности, кондиционирования и т. п.). Только П. А. Афанасьев применил данные о силе статического разрушения зерновок к теоретическому определению работы измельчения на нарезными вальцами.

Важнейшей механической характеристике — модулю упругости первого рода — в исследовании упругих свойств зерновок не уделено достаточного внимания, за исключением работы А. Л. Шполянской. Анализируя данные этой работы о модуле упругости зерновок и сравнивая его с модулем упругости первого рода других материалов, находим, что модуль упругости зерновок оказывается одного порядка с модулем упругости кирпича, известняка.

Установлено, что при влажности 12% предел пропорциональности почти совпадает с началом разрушения при наличии незначительных пластических деформаций, т. е. зерновка находится в хрупком состоянии. Но А. Л. Шполянской и И. М. Маховым отмечается, что в увлажненном зерне, когда развиваются значительные пластические деформации, пропорциональность силы и деформации сохраняется до появления первых трещин.

В динамических условиях А. Л. Шполянской, В. Я. Гиршсоном исследовалась работа разрушения зерновки на копре.

Я. Н. Куприц с помощью ротационного электродинамометра исследовал относительное значение твердости размалываемого зерна в зависимости от влажности. С. Д. Хусидом, И. А. Наумовым и Л. Н. Моховым изучалась работа разрушения зерна, отнесенная к единице вновь образованной поверхности.

Силы, приложенные к зерновке при ударном нагружении, и время их действия никем из авторов известной нам литературы не определялись.

II

Во второй главе — теоретические предпосылки и допущения — рассматривается определение условного модуля упругости, сил и времени ударного нагружения зерна пшеницы.

В качестве основных допущений были приняты: при статических испытаниях — равномерное распределение напряжений по площади сжатия зерновки; при динамических испытаниях — рассматривалась зерновка пшеницы в виде равновеликого шара, ударяющегося о неподвижную гладкую плоскость.

Модуль упругости материалов обычно определяется путем измерения деформаций растяжения (либо сжатия, если сопротивление растяжению и сжатию одинаково) при ступенчатом нагружении до явного нарушения закона пропорциональности. Для испытания исследуемого материала изготавливается определенный, обусловленный ГОСТом, образец, который деформируется либо только в пределах упругости, либо доводится до разрушения. При исследовании модуля упругости зерновок изготовить опытный образец не представляется возможным, так как при вырезывании из зерновки кубика, нарушается прочность эндосперма, кроме того, удаляется оболочка, которая играет большую роль в прочности зерна в целом. Следовательно, в данном случае для получения упругих характеристик необходимо брать целую зерновку.

Так как зерновка пшеницы представляет собой комплексную конструкцию с различными физическими характеристиками анатомических частей, в работе не используется формула Н. Герца, как это сделано в работе А. Л. Шполянской, а определяются напряжения при сжатии зерна прямыми измерениями. Тогда условный модуль упругости для каждой ступени нагружения определяется по формуле

$$E_1 = \frac{\sigma_p}{\varepsilon_p},$$

где σ_p и ε_p — напряжение и относительное сжатие в пределах упругости.

Однако, из-за специфической формы зерновки с каждым последующим нагружением площадь касания ее с матрицей увеличивалась, а напряжения на площадке касания уменьшались, при этом условный модуль упругости E_1 не оста-

вался постоянным. Для исключения влияния формы на результаты исследования упругих свойств зерна напряжения подсчитывались не на площади касания, а на площади разрушения F_{1p} . Таким образом, получено другое значение условного модуля упругости:

$$E_2 = \frac{\sigma_{1p}}{\varepsilon_p},$$

где σ_{1p} — напряжения на площади излома.

На основании выводов классической теории удара среднее значение силы взаимодействия при ударе будет

$$P_{\text{ср}} = \frac{mv_a(1+k_B)}{\tau}, \quad (1)$$

где m — масса отдельной зерновки;

v_a — скорость ее в начале удара;

τ — время удара и

k_B — коэффициент восстановления, зависящий от физических свойств материала.

Экспериментальному определению подвергалась сила удара $P_{\text{ср}}$, либо время соударения τ .

Однако, классическая теория не рассматривает упругих деформаций и напряжений, возникающих при ударе. Более совершенное отражение явление удара находит в теории Н. Герца, проверенной и развитой трудами А. Н. Динника, Н. А. Кильчевского, И. Л. Штаермана и др. Основным допущением теории Н. Герца является то, что «упругое состояние тел вблизи поверхности удара во все время удара весьма близко к тому состоянию равновесия, которое возникло бы в обоих телах при сжатии их». Таким образом, задача об ударе сводится к задаче о сжатии двух тел в пределах упругости. Зависимость между силой и деформацией в этом случае будет

$$P = k \cdot z^{3/2},$$

где z — местное смятие;

k — коэффициент, зависящий от кривизны поверхностей соударяющихся тел в точке касания, от физических свойств материала, определяемый по выражению

$$k = \frac{2}{3(1-\mu^2)} E_2 \sqrt{R_3},$$

где μ — коэффициент Пуассона;

R_3 — радиус шара с объемом равновеликим зерновке.

Если принять $\mu = 0,3$ и по непосредственным измерениям

для подопытных пшениц $R_3 = 0,16$ см; тогда сила ударного нагружения зерновки будет:

$$P_{\text{ср}} \approx 0,3 E_2 \cdot z^{3/2}. \quad (2)$$

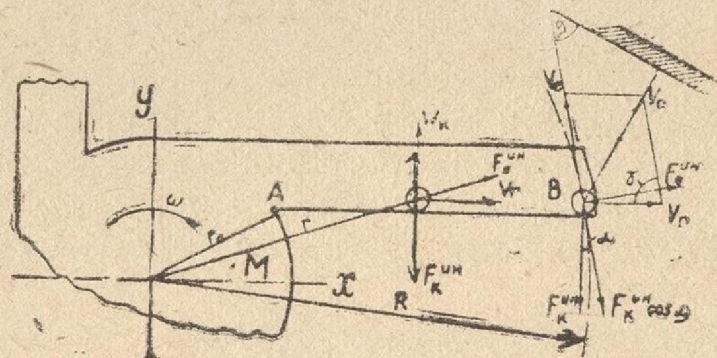
Экспериментальное определение силы удара производилось с помощью датчика ударного импульса, в качестве которого был применен пьезоэлектрический преобразователь с чувствительным элементом из титаната бария, как наиболее эффективный при измерении кратковременных сил и времени их действия. Тарирование пьезодатчика осуществлялось при помощи вибростенда. Чувствительность определялась по выражению

$$v = \frac{250 \cdot u}{x \cdot \omega^2 \cdot m},$$

где u — выходное напряжение измерительного канала;
 x — амплитуда смещения;
 ω — частота колебаний;
 m — присоединенная масса.

Определение скорости соударения (v_a) производилось аналитически. При движении в роторе (рис. 1) зерновка подвергается действию сил

трения о соседние зерновки, о стенки ротора, совершает вертикальные перемещения, подвергается воздействию со стороны воздушных потоков, создаваемых ротором. Пренебрегая этими воздействиями, рассматривается задача определения относительной скорости частицы на плоскости, ограниченной окружностью радиусом r_0 , и в гладкой трубе AB , вращающиеся с постоянной угловой скоростью ω .



Р и с. 1. Схема скоростей и сил, действующих на частицу в канале ротора.

рассматривается задача определения относительной скорости частицы на плоскости, ограниченной окружностью радиусом r_0 , и в гладкой трубе AB , вращающиеся с постоянной угловой скоростью ω .

Уравнение движения точки $M(x, y, O)$ на плоскости

$$m \vec{W}_a = \vec{Q} + \vec{N} + \vec{T},$$

где \vec{Q} , \vec{N} и \vec{T} — векторы силы тяжести, нормального давления (проектируется на плоскость в точку) сопротивления движению.

Сила сопротивления движению определяется из выражения

$$\vec{T} = -k_1 \vec{v}_r,$$

где k_1 — приведенный коэффициент сопротивления.
Вектор абсолютного ускорения

$$\vec{W}_a = \vec{W}_e + 2(\vec{\omega} \times \vec{v}_r) + \vec{W}_r.$$

Тогда

$$m \vec{W}_e + 2m(\vec{\omega} \times \vec{v}_r) + m \vec{W}_r = \vec{Q} + \vec{N} + \vec{T}.$$

Спроектировав уравнение на координатные оси и положив $\frac{k_1}{m} = l$, получим систему дифференциальных уравнений

$$\begin{aligned}x'' &= -lx' + \omega^2 x + 2\omega y', \\y'' &= -ly' + \omega^2 y + 2\omega x',\end{aligned}$$

решение которых найдено путем разложения в ряд Маклорена по t . Задавшись начальными условиями, учитывая конструктивные особенности установки, находим $x(t)$ и $y(t)$. Для определения относительной скорости частицы в точке $A(x_A, y_A)$, путем последовательных приближений, находим время попадания частицы в точку A , а затем и проекции вектора относительной скорости v_r — $x'(t)$ и $y'(t)$.

После этого определяется относительная v_r и переносная v_0 скорости в точке B . Пренебрегая влиянием возможных перепадов давления в трубной камере, образованием вихревых токов воздуха и затопленных струй, можно определить полную скорость частицы в момент удара — v_a по теореме косинусов.

Эти значения скорости v_a и экспериментально полученные величины силы удара $P_{ср}$ позволяют вычислить с помощью выражения (1) время соударения.

III

В третьей главе приведено описание экспериментальных установок и методика исследования.

1. Описывается установка для определения разрушающих зерно усилий при статическом нагружении. Особенностью этой экспериментальной установки является возможность получения малых скоростей нагружения, при изменении скорости заполнения гиредержателя водой; возможность графической записи кривой сжатия, либо фиксирования деформаций при помощи индикатора. Кроме исследования характера процесса деформирования зерновки до разрушения, эти опыты

преследовали цель определения оптимального числа зерновок, необходимых для получения достоверных результатов исследования.

2. Приводится методика и описание установки для определения условного модуля упругости зерновок пшеницы. Особенностью этой экспериментальной установки является возможность фиксирования упругих деформаций зерновок при помощи свободно лежащей на зерновке верхней матрицы, соединенной со световой стрелкой — указателем деформаций. Рассматривается тензометрический способ определения сжимающих зерновку усилий, измерение площадки касания зерновки с матрицей.

Для опыта бралась навеска и рассортировывалась по крупности. От класса крупности, частота которого оказывалась наибольшей (мода), отбиралась средняя проба, определялась влажность и стекловидность. Перед нагружением каждая зерновка измерялась на стоечном индикаторе и укладывалась бороздкой вниз на матрицу прибора.

При статических опытах исследовались рядовая пшеница стекловидностью 30%, «Мелянопус 69» стекловидностью 70%, «Приазовская твердая» стекловидностью 83% и «Балтская твердая» стекловидностью 96% (урожая 1955 г. Одесской области).

3. Для проведения экспериментальных исследований по определению сил ударного нагружения зерна пшеницы была сконструирована и изготовлена центробежная установка, в которой ударное нагружение достигается столкновением зерен, выбрасываемых из 4-х трубок ротора (рис. 1), с пластинчатой преградой.

Режим работы установки менялся за счет регулирования автотрансформатором скорости вращения ротора, которая измерялась центробежным тахометром, и изменения площади проходного сечения питающего устройства. Экспериментально была найдена такая ориентация пластин обечайки, которая обеспечивала перпендикулярное попадание зерна на пластины. — при этом достигалась максимальная степень измельчения.

Измерение ударных импульсов при скоростях соударения от 40 до 90 м/сек проводилось с помощью пьезоэлектрического датчика, изготовленного из титаната бария, каскада предварительного усиления и регистрирующего прибора. Тарировка всего измерительного канала в целом проводилась путем установки пьезодатчика с присоединенной массой на вибростол, частота и амплитуда колебаний которого определялась с помощью специальных устройств.

Точность воспроизведения формы ударного механического импульса обеспечивалась достаточной жесткостью пьезоэлектрической пластины, высоким сопротивлением электрометрического входа предварительного усилителя, малыми искажениями в канале усиления и малой инерционностью регистрирующих приборов.

При исследовании величины и длительности ударного импульса были сопоставлены результаты, зарегистрированные на катодном и шлейфном осциллографах. При массовых измерениях средний уровень ударных импульсов определялся с помощью катодного вольтметра.

Для тарировки пьезодатчика применялся вибрационный стол, индуктивные датчики для измерения размаха колебаний, звуковой генератор и приборы регистрации выходного сигнала.

При определении эффективности ударного измельчения применялся лабораторный ситовой анализатор и подсчитывалась степень измельчения.

Динамические испытания производились с тремя сортами пшеницы заготовок урожая 1957 г. Одесского института селекции и генетики им. Т. Д. Лысенко: «Одесская-3», «Одесская-16» и «Южанка».

Для установления статистических зависимостей в виде эмпирических формул полученные данные подвергались обработке по методу наименьших квадратов. Погрешности параметров в формулах определяли по методу, развитому Е. Б. Лунцем.

IV

Четвертая глава посвящена результатам экспериментального исследования.

А. Статическое нагружение зерна

Исследование характера разрушения зерновок пшеницы в зависимости от влажности показало, что при влажности в 12% зерно ведет себя как хрупкий материал — разрушается при незначительных пластических деформациях, а при влажности в 17% наблюдается развитие пластических деформаций, составляющих 40% от полных. Обнаружено, что сила, соответствующая пределу упругости хрупкого зерна, строго говоря, не превышает двух килограммов, однако, вплоть до разрушения, приблизительно сохраняется пропорциональность между деформациями и сжимающей силой.

Исследование упругих свойств зерновок пшеницы дало возможность установить, что условный модуль упругости E_1 , полученный из отношения напряжения на площадке касания

зерновки с матрицей к относительному сжатию, зависит от формы зерновки, поскольку при увеличении нагрузки на зерновку, площадь касания возрастает быстрее усилия, при этом напряжения уменьшаются. В результате математической обработки опытов оказалось, что эта зависимость может быть представлена кривой гиперболического типа

$$E_1 = m \varepsilon_p^{-n}, \quad (3)$$

где m и n — эмпирические коэффициенты, независимые от относительного сжатия ε_p .

Значения E_1 интенсивно ($n > 1$) уменьшаются, а не остаются постоянными с увеличением относительного сжатия, следовательно E_1 не определяет упругие свойства зерновки пшеницы.

В результате проведенных опытов было установлено, что площадь излома отобранных зерновок, разрушенных сжимающей силой в направлении спинка — бороздка, остается примерно постоянной в пределах погрешности опытов и в нашем случае составляет $F_{1p} = 4 \text{ мм}^2$. После математической обработки результатов экспериментов, в которых сжимающая сила относилась к площади излома, получены значения условного модуля упругости E_2 , которые являются угловым коэффициентом кривых сжатия (рис. 2). Для каждой влажности E_2 характеризует угол наклона касательной к кривой сжатия в каждой точке нагружения, значит определяет упругие свойства зерновок исследуемой пшеницы.

Значение условного модуля упругости E_2 описывается выражением

$$E_2 = \sigma_{1p} \varepsilon_p^{-b}, \quad (4)$$

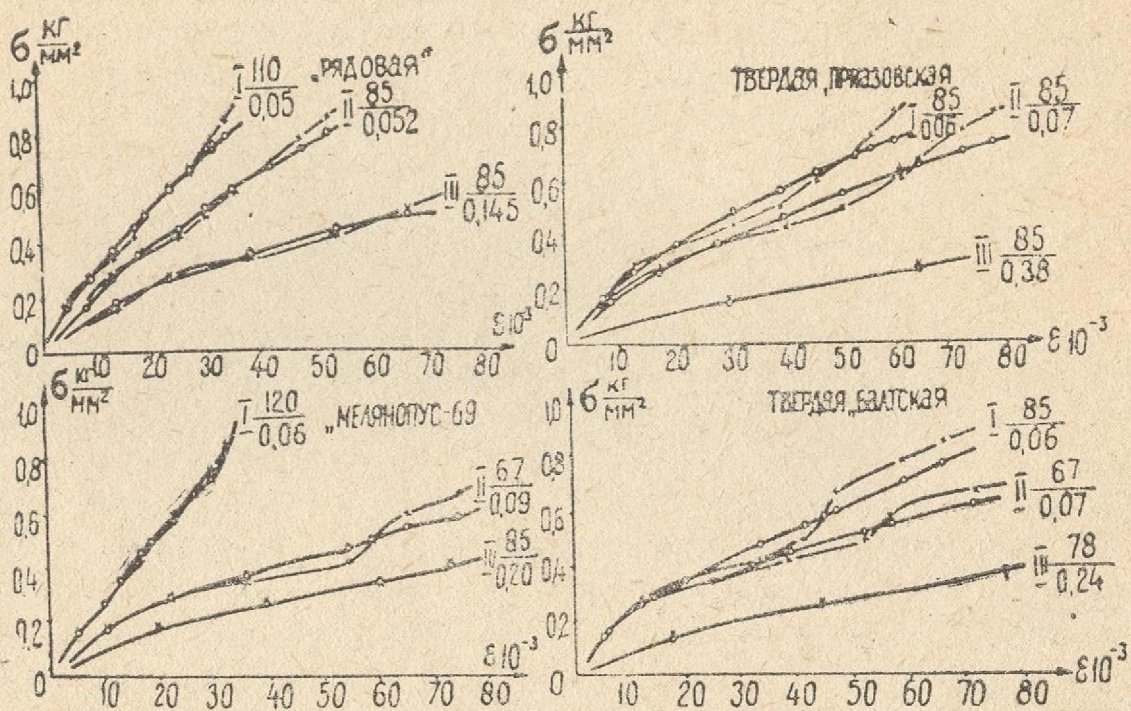
где σ_{1p} — напряжения на площадке излома зерна, зависящие от относительного сжатия;

b — коэффициент, зависящий от влажности зерна пшеницы.

В табл. 1 приводятся значения условного модуля упругости E_2 и показателя степени b для четырех сортов пшениц разной влажности.

Условный модуль упругости E_2 убывает с увеличением влажности зерна, т. е. сопротивляемость зерновок деформациям сжатия уменьшается. Анализ же графиков сжатия позволил найти, что при увеличении влажности зерна пшеницы от $W = 12\%$ до $W = 17\%$, работа разрушения одной зерновки возрастает в 2,2—6,3 раза в зависимости от сорта, поскольку наряду с уменьшением сопротивляемости сжатию происходит

увеличение затрат энергии на преодоление пластических деформаций увлажненного зерна.



Р и с. 2. Зависимость напряжений от относительного сжатия зерновки пшеницы.

Кривые I, II, III построены для зерновок различной влажности. Числитель дроби — напряжения в момент разрушения в кг/см². Знаменатель дроби — относительное сжатие в момент разрушения.

Располагая значения модулей упругости зерновок пшеницы в общем ряду значений модулей упругости материалов, получаем:

зерновка пшеницы (по данным А. Л. Шполянской)	(0,020—0,050) · 10 ⁶ ;
дерево поперек волокон	(0,005—0,010) · 10 ⁶ ;
зерновка пшеницы (E_2)	(0,0002—0,0014) · 10 ⁶ .

Б. Динамическое нагружение зерна

Зависимость силы удара от начальной скорости соударения описывается выражением

$$P = a_1 v_a^{b_1}, \quad (5)$$

где a_1 и b_1 — коэффициенты, зависящие от сорта и влажности пшеницы, приводятся в табл. 2.

Экспериментально определенные значения силы удара для подопытных пшениц в зависимости от сорта, влажности и скорости соударения находятся в пределах

$$P = 0,031 \div 0,210 \text{ кг.}$$

Таблица 1

Значения условного модуля упругости E_2 и показателя степени b в зависимости от влажности

Рядовая				Твердая „Приазовская“			
№ п.п.	W%	$E_2 \frac{\kappa\Gamma}{\text{мм}^2}$	b	№ п.п.	W%	$E_2 \frac{\kappa\Gamma}{\text{мм}^2}$	b
I	12,0	11,24	0,78	I	12,2	5,44	0,69
II	14,6	7,59	0,76	II	15,1	4,29	0,68
III	17,2	2,68	0,62	III	17,2	1,58	0,64

„Мелянопус“				Твердая „Балтская“			
№ п.п.	W%	$E_2 \frac{\kappa\Gamma}{\text{мм}^2}$	b	№ п.п.	W%	$E_2 \frac{\kappa\Gamma}{\text{мм}^2}$	b
I	11,2	14,57	0,85	I	11,6	4,84	0,67
II	14,4	3,25	0,65	II	14,0	2,45	0,51
III	17,5	2,43	0,67	III	17,1	1,47	0,54

Таблица 2

Значения коэффициентов a_1 и b_1 при разных влажностях (W%) зерна пшеницы Од-16; Од-3 и „Южанка“

№№ п.п.	Од-16			Од-3			„Южанка“		
	W%	a_1	b_1	W%	a_1	b_1	W%	a_1	b_1
1	12,8	1,918	1,002	12,2	0,096	1,68	11,8	0,394	1,36
2	14,4	0,635	1,262	14,2	0,057	1,77	17,8	0,073	1,72
3	16,8	0,201	1,530	16,2	0,043	1,89	20,0	0,002	2,56
4	20,8	0,131	1,560	18,0	0,013	2,17	—	—	—

Значения силы удара, подсчитанные по выражению (2) в зависимости от условного модуля упругости, статического сжатия, сорта и влажности, получаются того же порядка

$$P_{\text{ср}} = 0,010 \div 0,230 \text{ кг.}$$

При этом вычисление значения времени соударения оказались равными от ~ 1 до ~ 3 мсек. Время соударения определялось и непосредственными экспериментальными измерениями (рис. 3). При этом

$$\tau \approx 1,0 \div 1,5 \text{ мсек.}$$

Зависимость силы и времени удара от влажности зерна при постоянной степени измельчения приводится в табл. 3.

Таблица 3

Зависимость силы и времени удара от влажности при одинаковой степени разрушения

W %	Од-16.		W %	Од-3		W %	„Южанка“	
	P кГ	τ сек		P кГ	τ сек		P кГ	τ сек
12,8	0,130	$1,51 \cdot 10^{-3}$	12,2	0,110	$1,56 \cdot 10^{-3}$	4,8	0,083	$2,83 \cdot 10^{-3}$
14,4	0,147	$1,54 \cdot 10^{-3}$	14,2	0,110	$1,80 \cdot 10^{-3}$	13,4	0,103	$2,70 \cdot 10^{-3}$
16,8	0,157	$1,89 \cdot 10^{-3}$	16,2	0,156	$1,50 \cdot 10^{-3}$	15,8	0,110	$2,90 \cdot 10^{-3}$
19,0	0,120	$2,48 \cdot 10^{-3}$	18,0	0,156	$1,67 \cdot 10^{-3}$	17,8	0,116	$3,02 \cdot 10^{-3}$
20,8	—	—	20,0	—	—	20,0	0,116	$2,58 \cdot 10^{-3}$

Как видно из таблицы, с увеличением влажности сила удара возрастает.

Приводимые в литературе расчеты потребной скорости молотков дробилок основаны на параметрах, которые принимались согласно исследованиям сил разрушения зерновок при статическом сжатии $P = 12000$ Г и исследованиям А. А. Динника о времени удара стальных шаров $\tau = 10^{-5}$ сек. При этом импульс $P\tau = 1,2 \cdot 10^{-4}$ кГсек, а расчетная окружная скорость молотков дробилки, минимально необходимая для измельчения зерна при массе зерновки $m = 3 \cdot 10^{-3} \frac{\text{г} \cdot \text{сек}^2}{\text{м}}$, оказывается

равной $v = 40$ м/сек. Вычисленная по экспериментальным данным $P\tau = 1,5 \cdot 10^{-4} \div 4 \cdot 10^{-4}$ кГ/сек. скорость соударения составила $38,5 \div 105,0$ м/сек, что соответствует практически применяемым в промышленности окружным скоростям молотковых роторов $v = 40 \div 85$ м/сек.

При повторных пропусках через экспериментальную установку частиц, не разрушенных при первых пропусках, наблюдалось снижение сил ударного разрушения при прочих равных условиях. Это свидетельствует о процессе предразрушения от первых соударений.

Исследование эффективности ударного измельчения показало, что степень измельчения возрастает с увеличением скорости соударения и убывает с ростом влажности зерна. Повторные пропуски зерна через экспериментальную установку увеличивают степень измельчения. Как показало визуальное обследование, зерно измельчается на крупки, представляющие собой частицы эндосперма и сростки

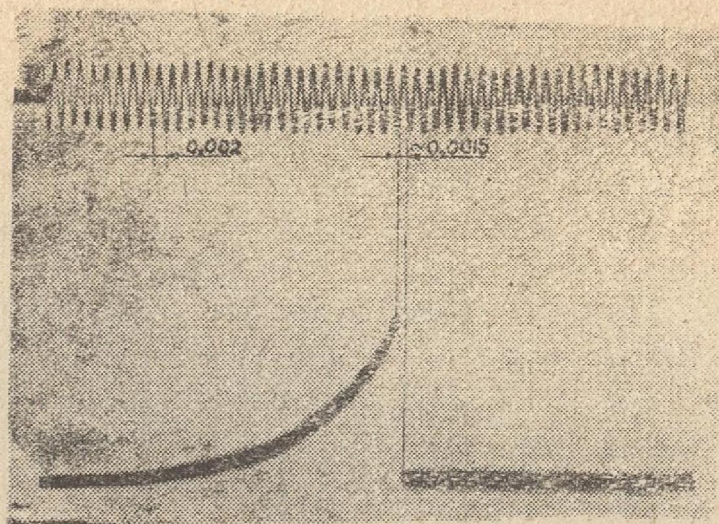


Рис. 3. Ударный импульс, записанный на шлейфном осциллографе МПО-2. Отметчик времени 500 *мкс*.

Общие выводы и предложения

1. Для изучения упругих свойств и сил ударного нагружения зерна пшеницы были сконструированы и применены экспериментальные установки, не применявшиеся ранее при изучении физических свойств зерна:

- — экспериментальная установка для плавного нагружения зерна с графической записью кривой сжатия;
- экспериментальная установка, позволяющая фиксировать упругие деформации и измерять усилия сжатия при помощи тензодатчиков;
- экспериментальная установка для исследования сил ударного нагружения зерна с регистрацией ударных импульсов при помощи пьезодатчика.

Первые две установки могут служить исходными конструктивными схемами при проектировании прибора для изучения упругих свойств зерна в статических условиях нагружения.

Третью установку можно рекомендовать в качестве исходной конструктивной схемы при разработке прибора для исследования параметров динамического нагружения зерна.

2. В результате экспериментального исследования упругих свойств зерна пшеницы найдено, что условный модуль упругости E_1 , полученный через напряжения на площадке касания сжимающей матрицы с поверхностью зерновки пшеницы, зависит от относительного сжатия и описывается эмпирическим выражением (3). Из-за влияния формы зерновки

условный модуль E_1 не может быть использован в качестве физической характеристики зерна.

3. Условный модуль упругости E_2 получен через напряжения на площадке излома и описывается эмпирическим выражением (4). Условный модуль E_2 может быть использован как показатель упругих свойств зерна и найти применение при расчетах силового нагружения рабочих органов измельчающих машин.

4. При исследовании упругих свойств зерновок рядовой пшеницы урожая 1955 г. Одесской области, влажностью $W = 12\%$ найдено, что относительное сжатие при достижении разрушающего усилия, регистрируемое появлением трещин $\varepsilon_p = 0,042 (\pm 19,5\%)$.

Значение силы, соответствующей пределу упругости зерновки пшеницы стекловидностью 30% , при $W = 12,2\%$ составляет $1,6 \text{ кг}$, при $W = 17,3\%$ — $1,0 \text{ кг}$.

5. Из результатов экспериментального изучения процесса динамического нагружения зерновок пшеницы следует, что сила их ударного нагружения изменяется в зависимости от массы зерновки, скорости соударения, сорта, влажности и описывается выражением (5).

Полученные значения сил соударения изменялись под влиянием указанных факторов от 30 до 210 Г.

Время соударения составляло $\tau \approx (1,0 \text{ до } 3,0) \cdot 10^{-3} \text{ сек}$.

Поисковые опыты по определению технологической эффективности процесса измельчения пшеницы ударным способом выявили необходимость постановки специального исследования для изучения целесообразности создания центробежной измельчающей машины.

Материалы диссертационной работы опубликованы в следующих статьях и докладах автора:

1. О модуле упругости зерна пшеницы. Труды Одесского технологического института им. М. В. Ломоносова, том XIII, 1960.

2. Исследование сил разрушения зерна при ударном нагружении. Труды Одесского технологического института им. М. В. Ломоносова, том XIV, 1962.

3. Исследование сил разрушения зерна при ударном нагружении. Тезисы докладов XXIV научной конференции Одесского технологического института им. М. В. Ломоносова, 1961.

4. Исследование упругих свойств сил и эффективности ударного разрушения зерна пшеницы. Тезисы докладов XXVI научной конференции Одесского технологического института им. М. В. Ломоносова, 1964.