

ПРОЦЕССЫ, АППАРАТЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

УДК 664.71

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ КРИТЕРИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ РАЗРУШЕНИЯ ЗЕРНА

Н.Н. Курилович, В.Г. Харкевич

Представлены экспериментальные данные по физико-механическим свойствам прощенного зерна различных злаковых культур. Построены кривые деформирования и получены зависимости разрушающих напряжений от динамики нагружения и влажности зерна. Для оценки меры повреждений зерна при разрушении использовано уравнение энергетического типа. Показана возможность его использования, когда предельная работа на единицу объема, затраченная на разрушение зерна, представляет собой некоторую функцию, зависящую от температуры, влажности и скорости нагружения.

Введение

Для оценки меры повреждений при деформировании и разрушении материалов используются кинетические уравнения повреждений силового, деформационного и энергетического типов. Постоянные и функциональные параметры, входящие в эти уравнения определяются на основании многочисленных опытов при простом растяжении и проверяются для различных видов нагружения.

В нашей работе для проверки меры повреждений будем использовать уравнения энергетического типа. Согласно этим уравнениям в момент разрушения должно выполняться постоянство работы вязкопластического и мгновенно пластического деформирования. Разрушение наступает тогда, когда работа или накопившаяся внутренняя энергия достигает некоторого предельного значения [1, 2]. Условие разрушения имеет вид:

$$A = \int_0^{\varepsilon} \sigma d\varepsilon = C(T, W, v_{\sigma}), \quad (1)$$

где A – предельная работа на единицу объема, представляющая собой некоторую функцию C , зависящую от температуры T , влажности W и скорости нагружения v_{σ} ;

ε – истинная необратимая деформация, равная сумме мгновенно пластической и вязкопластической деформации;

σ – испытанное напряжение.

Цель работы – показать применение энергетического критерия [1] в практической целесообразности в случае, если функция C в выражении (1) будет иметь одинаковое значение при многофакторном испытании.

Результаты исследований и их обсуждение

Для проведения испытаний использовались пророщенные зерна ржи, тритикале, пшеницы следующих сортов: рожь озимая сорта «Верасень», тритикале озимое сорта «Мара» и пшеница яровая сорта «Мунк».

Зерна выбирали одинаковыми по ширине, длине и толщине. Из выбранных зерен вырезали образцы в виде столбиков одинаковой длины и диаметра. В ходе подготовки образцов с поверхности зерна удалялась внешняя оболочка. Так как зерно имеет продольную канавку, то определение эффективной площади образца S проводили по формуле

$$S = \frac{\pi d^2}{4} K, \quad (2)$$

где K – коэффициент, учитывающий влияние продольной канавки на величину эффективной площади (изменяется в пределах 0,75–0,8);

d – диаметр зерна.

На образцы помещали тонкую пластину незначительного веса с вертикально впаянной иглой. Пластины нагружали грузами вплоть до разрушения образцов. О деформациях образца судили по перемещению кончика иглы. Величину деформации измеряли с помощью оптического катетометра В-630, точность измерения которого составляет 0,001 мм [3]. Таким образом был исключен любой контакт образцов со вспомогательными устройствами, что позволило получить точные экспериментальные данные при построении кривых деформирования. На каждом уровне напряжений испытывали 3-5 образцов.

Эксперимент проводили при одноосном сжатии. Предельное состояние влечёт появление трещин и отделения одной части зерна от другой, а также появление значительных остаточных деформаций [4, 5].

Первая серия опытов заключалась в том, что кривые деформирования для образцов определяли при различной влажности и температуре окружающего воздуха равной 23 °С.

Наибольшей прочностью обладает пророщенное зерно ржи, у которого при влажности 36 % разрушающее напряжение и предельная относительная деформация соответственно составляют 2,5 МПа и 0,40, а при влажности 43 % – 1,6 МПа и 0,45.

Для пророщенного зерна тритикале при влажности 33 % разрушающее напряжение и предельная относительная деформация составляют 2,2 МПа и 0,48 соответственно, а при влажности 43% – 1,2 МПа и 0,38.

Наименьшей прочностью обладает пророщенное зерно пшеницы. При влажности 33,5 % разрушающее напряжение оказалось равным 1,4 МПа при предельной относительной деформации 0,27, а при влажности 41 % полученные значения составляли соответственно 0,5 МПа и 0,17.

Опытные данные показывают, что для пророщенного зерна ржи и тритикале предельная относительная деформация при разрушении строго не зависит от влажности, в то время как для пророщенного зерна пшеницы предельная относительная деформация с увеличением влажности уменьшается. В свою очередь эксперименты показали, что физико-механические свойства этих материалов в значительной мере зависят от скорости нагружения v_σ [6,7]:

$$v_\sigma = \frac{d\sigma}{dt}, \quad (3)$$

где t – время воздействия разрушающего напряжения σ .

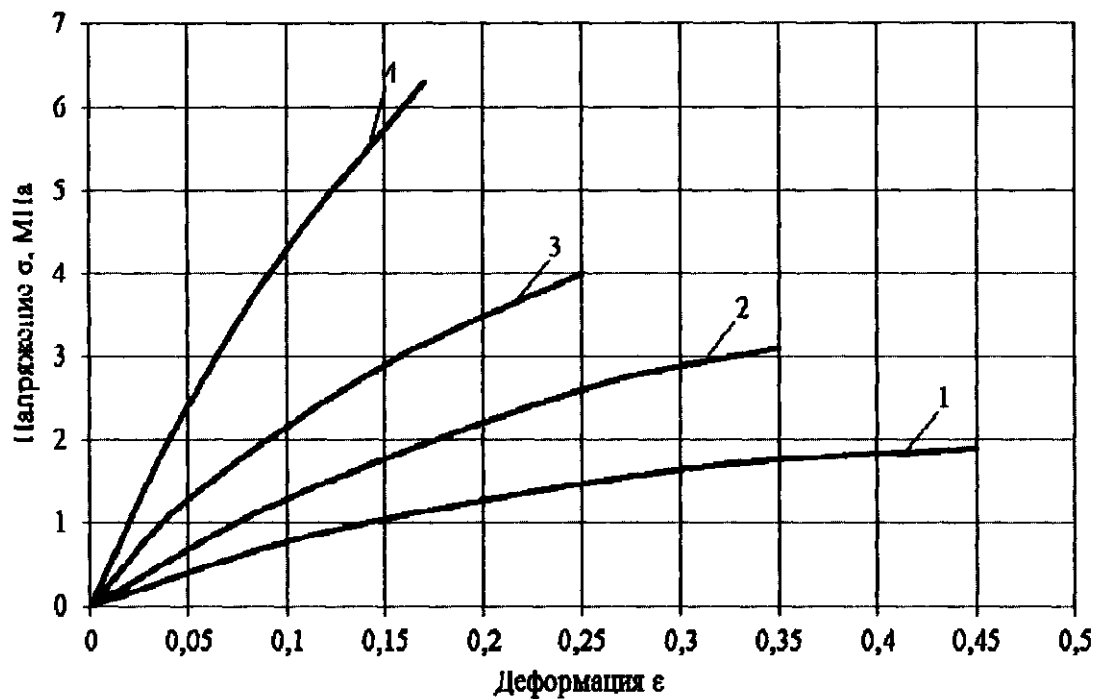
Была проведена серия опытов с различными динамическими коэффициентами k_d . При ударе они (k_d) соответственно составляли 1,0; 6,8; 9,2; 13.

Динамический коэффициент определяли по формуле (4):

$$k_d = 1 + \sqrt{\frac{2H}{\delta_c}}, \quad (4)$$

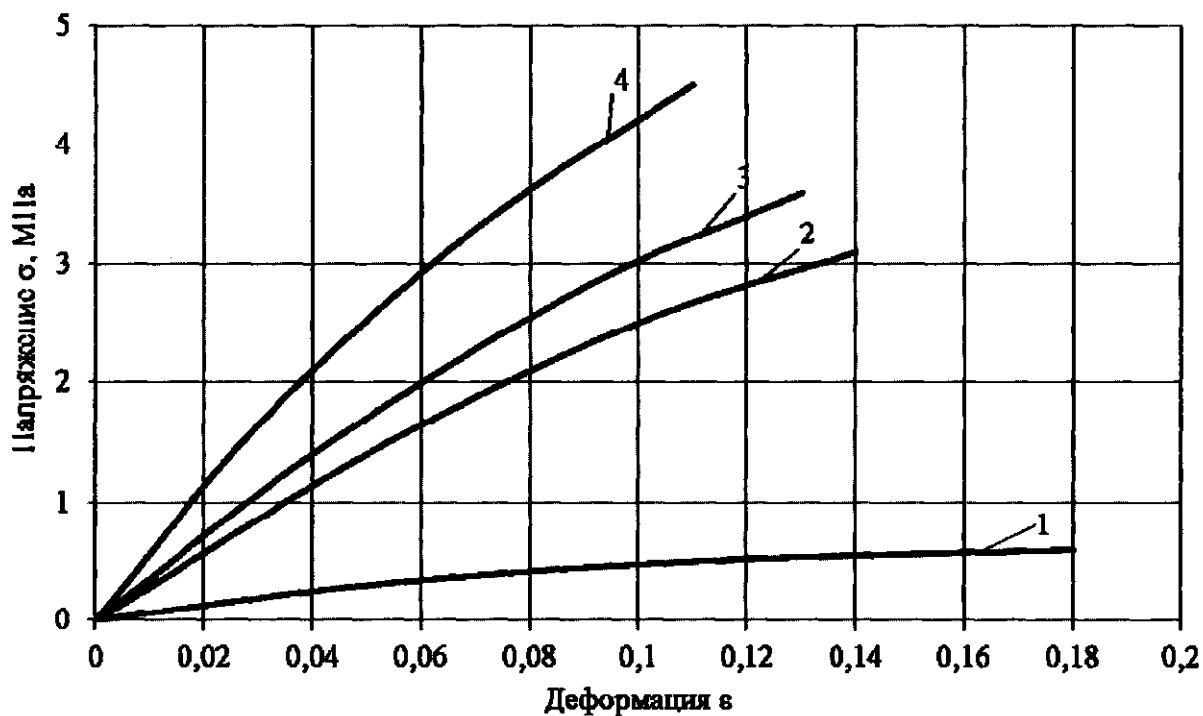
где H – высота падения груза;

δ_c – относительная деформация, определяемая по кривым деформирования статически приложенного груза, который по массе равен грузу, используемому при проведении динамических испытаний.



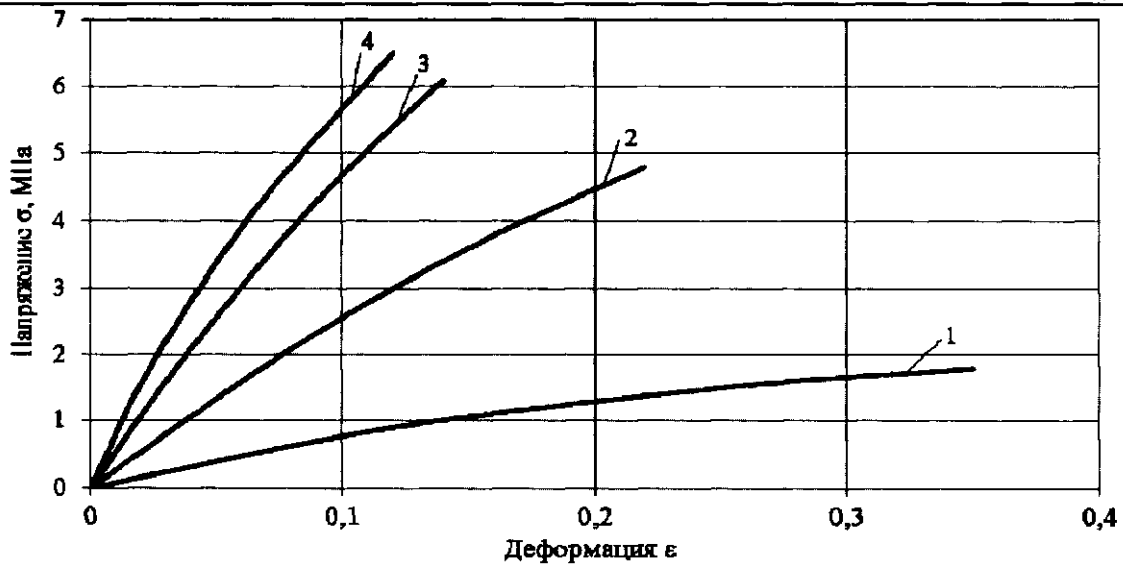
1 – $k_d = 1,0$; 2 – $k_d = 6,8$; 3 – $k_d = 9,2$; 4 – $k_d = 13,0$

Рисунок 1 – Кривые деформирования пророшенного зерна ржи влажностью $W=38,5\%$ при различных значениях динамического коэффициента K_d



1 – $k_d = 1,0$; 2 – $k_d = 6,8$; 3 – $k_d = 9,2$; 4 – $k_d = 13,0$

Рисунок 2 – Кривые деформирования пророшенного зерна пшеницы влажностью $W=38\%$ при различных значениях динамического коэффициента K_d



$$1 - k_d = 1,0; \quad 2 - k_d = 6,8; \quad 3 - k_d = 9,2; \quad 4 - k_d = 13,0$$

Рисунок 3 – Кривые деформирования пророщенного зерна тритикале влажностью $W=38\%$ при различных значениях динамического коэффициента K_d

Кривые деформирования с различными динамическими коэффициентами представлены на рисунках 1–3. Анализ экспериментальных данных, приведенных на рисунках 1–3, показывает, что при увеличении скорости нагружения и динамического коэффициента предел прочности у всех исследуемых материалов увеличивается, а пластические свойства к моменту разрушения значительно уменьшаются.

Испытания при других значениях влажности показали примерно одинаковое поведение материала на кривых деформирования. В таблицах 1–3 представлены значения предельной работы при разрушении пророщенного зерна ржи, пшеницы и тритикале.

Таблица 1 – Предельная работа, затраченная на разрушение пророщенного зерна ржи различной влажности

Динамический коэффициент k_d	Разрушающее напряжение σ , МПа	Предельная деформация ϵ	Предельная работа, затраченная на разрушение A , МДж/м ³
$W=36\%$			
1,0	2,5	0,40	1,00
6,8	3,8	0,30	1,14
9,2	4,5	0,20	0,90
13,0	6,5	0,15	0,97
$W=38,5\%$			
1,0	1,9	0,45	0,83
6,8	3,1	0,35	1,08
9,2	4,0	0,25	1,00
13,0	6,3	0,17	1,07
$W=43\%$			
1,0	1,6	0,45	0,72
6,8	2,8	0,22	0,62
9,2	3,5	0,18	0,63
13,0	5,5	0,16	0,88

Таблица 2 – Предельная работа, затраченная на разрушение пророщенного зерна пшеницы различной влажности

Динамический коэффициент k_d	Разрушающее напряжение σ , МПа	Предельная деформация ε	Предельная работа, затраченная на разрушение A , МДж/м ³
$W=33,5\%$			
1,0	1,4	0,27	0,38
6,8	3,3	0,16	0,52
9,2	4,1	0,14	0,57
13,0	4,2	0,13	0,54
$W=38\%$			
1,0	0,6	0,18	0,10
6,8	3,1	0,14	0,43
9,2	3,6	0,13	0,41
13,0	4,5	0,11	0,50
$W=41\%$			
1,0	0,5	0,17	0,09
6,8	2,8	0,12	0,34
9,2	3,7	0,11	0,41
13,0	4,5	0,10	0,45

Таблица 3 – Предельная работа, затраченная на разрушение пророщенного зерна тритикале различной влажности

Динамический коэффициент k_d	Разрушающее напряжение σ , МПа	Предельная деформация ε	Предельная работа, затраченная на разрушение A , МДж/м ³
$W=33\%$			
1,0	2,2	0,48	1,06
6,8	5,1	0,20	1,02
9,2	6,7	0,13	0,88
13,0	7,2	0,11	0,80
$W=38\%$			
1,0	1,8	0,35	0,61
6,8	4,8	0,22	1,05
9,2	6,1	0,14	1,05
13,0	6,5	0,12	0,76
$W=41\%$			
1,0	1,2	0,38	0,46
6,8	3,2	0,17	0,55
9,2	4,1	0,15	0,62
13,0	5,0	0,12	0,60

Заключение

Проведенные экспериментальные исследования по разрушению пророщенного зерна дают основание считать критерий разрушения, представленный в формуле (1), наиболее

приемлемым для пророщенного зерна ржи. Что касается пророщенного зерна пшеницы и тритикале, то из полученных экспериментальных данных видно, что при увеличении влажности наблюдается незначительное уменьшение предельной работы, затраченной на разрушение. Однако, анализируя результаты исследований, можно считать данный критерий достаточно приемлемым для инженерных расчетов и принять его в качестве критерия разрушения для всех рассмотренных материалов.

Литература

- 1 Наумов, И.А. Совершенствование кондиционирования и измельчения пшеницы и ржи / И.А. Наумов // – М.; Колос, 1975. – 175 с.
- 2 Егоров, Г.А. Технология переработки зерна / Г.А. Егоров и др. // 2-е издание, доп. и перераб. – М.; Колос, 1977. – 366 с.
- 3 Харкевич, В.Г. Приборы и методика проведения исследований свойств высушенного хлеба как объекта измельчения / В.Г. Харкевич, Н.Н. Курилович, В.А. Шуляк // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы междунар. науч.-техн. конф.: В 3 ч. / М-во образования Респ. Беларусь, М-во образования и науки Рос. Федерации, Могилев, обл. исполн. ком., Нац. акад. наук Респ. Беларусь, Бел.-Рос. ун-т; редкол.: И.С. Сазонов (гл. ред.) [и др.]. – Могилев: Бел.-Рос. ун-т, 2006. – Ч. 1. – С. 171–172.
- 4 Курилович, Н.Н. Инженерная реология пищевых масс / Н.Н. Курилович, О.В. Мацикова, Е.Ф. Тихонович // – Могилев, 2009. – 123 с.
- 5 Харкевич, В.Г. Обобщение результатов исследований по статическому разрушению хрупких пищевых материалов / В.Г. Харкевич, В.А. Шуляк // Вестник МГУП. – 2007. – № 1. – С. 93–99.
- 6 Курилович, Н.Н. Физические свойства уплотненного макаронного теста, изготовленного с использованием ржаной муки / Н.Н. Курилович, Е.Ф. Тихонович // Сборник научных трудов к 30-летию Могилевского государственного университета продовольствия; редкол.: Т.С. Хасаншин [и др.]. – Издательский центр БГУ, Минск, 2003. – С. 110–115.
- 7 Дарков, А.В. Сопротивление материалов: учебник / А.В. Дарков, Г.С. Шпиро. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1989. – 624 с.

Поступила в редакцию 06.05.2015