

УДК 631.362:621.928

4.3.1 Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки, сельскохозяйственные науки)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ И ДЕФОРМАЦИИ СЕМЯН ЧЕЧЕВИЦЫ

Костенко Михаил Юрьевич
д.т.н., профессор
РИНЦ SPIN-код: 2352-0690
kostenko.mihail2016@yandex.ru
ФГБОУ ВО РГАТУ
390044, Россия, г. Рязань, ул. Костычева, дом 1

Салапин Илья Михайлович
Аспирант
1234-99-99@mail.ru
ФГБОУ ВО РГАТУ
390044, Россия, г. Рязань, ул. Костычева, дом 1

Данная работа углубленно исследует механизмы деформации и разрушения семян сельскохозяйственных культур под действием статического сжатия. Понимание этих процессов критически важно для оптимизации технологических операций, таких как посев, транспортировка и обработка семян (протравливание, сушка), минимизируя повреждения и, как следствие, повышая урожайность. Для получения объективных данных о поведении зерна под нагрузкой, был сконструирован специализированный прибор для испытаний на статическое сжатие. Прибор обеспечивает плавное и контролируемое приложение сжимающей силы с высокой точностью измерения как величины нагрузки, так и деформации образца. Полученные данные позволяют не только установить предел прочности семян, но и проанализировать характер деформации перед разрушением. Это позволит разработать рекомендации по оптимизации параметров работы шнековых механизмов для минимизации механических повреждений семян, что, в свою очередь, положительно скажется на показателях всхожести и развитии сельскохозяйственных растений

Ключевые слова: ПРОЧНОСТЬ, ДЕФОРМАЦИЯ, ТРАВМИРОВАНИЕ СЕМЯН, ШНЕКОВЫЙ ТРАНСПОРТЁР, МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СЕМЯН

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-209-035>

UDC 631.362:621.928

4.3.1. Technologies, machinery and equipment for the agro-industrial complex (technical sciences, agricultural sciences)

INVESTIGATION OF THE STRENGTH AND DEFORMATION OF LENTIL SEEDS

Kostenko Mikhail Yuryevich
Dr.Sci.Tech., professor
RSCI SPIN-code: 2352-0690
kostenko.mihail2016@yandex.ru
FGBOU VO RGATU
390044, Russia Ryazan, ul.Kostycheva, 1

Salapin Ilya Mikhailovich
Post graduate student
234-99-99@mail.ru
FGBOU VO RGATU
390044, Russia Ryazan, ul.Kostycheva, 1

This work investigates in depth the deformation and fracture mechanisms of crop seeds under static compression. Understanding these processes is critical to optimize technological operations such as sowing, transport and seed treatment (dressing, drying), minimizing damage and consequently increasing yields. In order to obtain objective data on the behavior of the grain under load, a specialized static compression test instrument has been designed. The instrument provides smooth and controlled application of compressive force with high accuracy in measuring both the magnitude of the load, and deformation of the specimen. The data obtained allow not only to establish the ultimate strength of seeds, but also to analyze the nature of deformation before fracture. This will make it possible to develop recommendations for optimizing the parameters of screw mechanisms to minimize mechanical damage to seeds, which, in turn, will have a positive effect on germination rates and the development of agricultural plants

Keywords: STRENGTH, DEFORMATION, INJURY TO SEEDS, SCREW CONVEYOR, MECHANICAL PROPERTIES OF SEEDS

Введение. Сохранность посевного материала – краеугольный камень успешного земледелия, напрямую влияющий на будущий урожай. Потери урожайности из-за поврежденных семян могут быть значительными, достигая в отдельных случаях десятков процентов. Особо уязвимы семена на этапах подготовки и транспортировки, где они часто подвергаются механическим воздействиям. Шнековые транспортеры, широко используемые в сельском хозяйстве для перемещения зерна и семян, представляют собой один из главных источников таких повреждений.

Механические повреждения семян, незаметные невооруженным глазом, могут привести к снижению всхожести, уменьшению энергии прорастания, задержке развития всходов и, как следствие, к уменьшению урожая. Различные культуры обладают неодинаковой устойчивостью к механическим повреждениям. Например, семена зерновых культур, такие как пшеница или ячмень, отличаются большей прочностью по сравнению с семенами более деликатных культур, например, соя. Повреждения могут затрагивать как наружные оболочки семян, так и внутренние структуры, в том числе зародыш, что критично для процесса прорастания. Нарушение целостности семя ведет к повышенному риску проникновения патогенных микроорганизмов и, как следствие, к развитию различных заболеваний [2,4].

Для глубокого понимания механизмов травмирования семян необходимо детальное изучение их поведения под воздействием различных видов нагрузок, в частности, сжатия.

Проблема и цель.

Механические повреждения, полученные семенами в ходе подготовки к посеву и последующей транспортировки, существенно снижают их качество и потенциал. Особо уязвимы семена при использовании агрессивных методов обработки и транспортировки,

например, при работе шнековых транспортеров. Эти устройства, несмотря на свою эффективность в перемещении больших объемов семян, создают значительные механические нагрузки: семена подвергаются сдавливанию, трению, ударам и срезам. В результате возникают различные типы повреждений: от микротрещин в семенной кожуре до серьёзных деформаций зародыша.

Микротрещины, незаметные невооруженным глазом, нарушают целостность семенной оболочки, что приводит к потере влаги и снижению устойчивости к воздействию патогенной микрофлоры и неблагоприятных условий окружающей среды. Повреждения зародыша – ещё более критичны. Они могут проявляться в виде вмятин, разрывов и даже полного разрушения. Такие семена либо не прорастают вовсе, либо дают слабые, нежизнеспособные всходы, уязвимые к болезням и вредителям. В итоге это существенно снижает густоту стояния посевов и, как следствие, урожайность.

Чтобы основательно понимать процессы повреждения семян, требуется обстоятельное исследование их реакции на разнообразные типы воздействий, особенно на силы, оказывающие давление.

Механическое повреждение, вызванное давлением, является одной из основных причин снижения всхожести и жизнеспособности семян. Интенсивность и характер повреждений варьируются в зависимости от таких факторов, как вид семян, их влажность, структура оболочки и величина приложенного давления.

Понимание взаимосвязи между приложенным давлением и степенью деформации семян имеет важное практическое значение для разработки оптимальных технологий обработки и хранения семенного материала, обеспечивающих сохранение его качества и высокой всхожести.

Материалы и методы исследования.

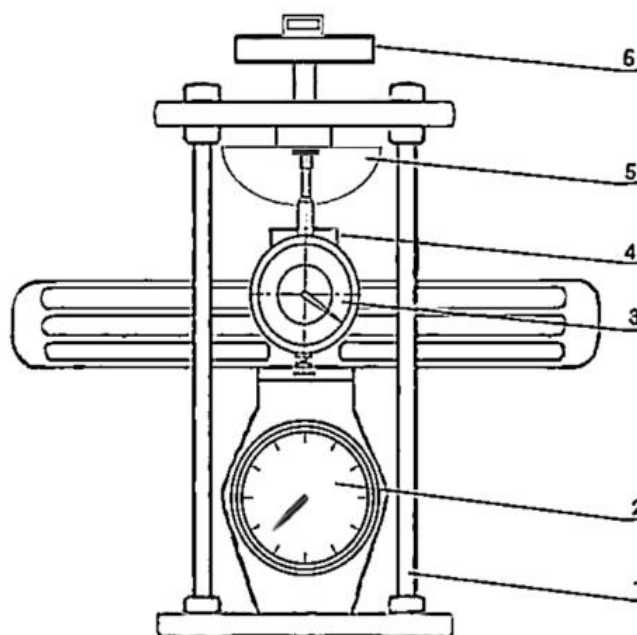
Для минимизации повреждений семян при транспортировке необходимо изучить механизмы возникновения повреждений на микроуровне. Это достигается путем проведения специальных исследований с использованием современного оборудования.

Для глубокого понимания механизмов травмирования семян необходимо детальное изучение их поведения под воздействием различных видов нагрузок, в частности, сжатия.

В рамках исследования процесса деформации и разрушения семян сельскохозяйственных культур под воздействием статического сжатия был создан и использован в расчётах специализированный прибор (рисунок 1), конструкция которого подробно представлена на рисунке 2. Этот прибор позволяет осуществлять контролируемое сжатие зерновок с высокой точностью измерения приложенной силы и деформации. В отличие от ранее применявшихся методов, использующих, например, универсальные испытательные машины, наш прибор обеспечивает более мягкое и равномерное приложение нагрузки, минимизируя влияние побочных эффектов, таких как неравномерное распределение давления и скольжение зерновки. Это особенно важно для получения достоверных данных о поведении зерна под нагрузкой, поскольку неравномерное сжатие может привести к преждевременному разрушению в определённых точках, искажая общую картину деформации. Кроме того, в приборе применяется давящая С-образная пластина, изготовленная из части витка шнека протравителя семян ПС-10 [1,3,5].



Рисунок 1 - Общий вид прибора для измерения деформации и прочности семян зерновых сельскохозяйственных культур



1- рама; 2 - динамометр сжатия механический ДОСМ-3-0.05; 3 - индикатор часового типа ИЧ 0-10мм; 4 – платформа для семени; 5 - давящая С-образная пластина; 6 – винт давления.

Рисунок 2 – Схема прибора для измерения деформации и прочности семян сельскохозяйственных культур

На складе семян ООО «Мир», находящемся в с. Студёнки, Александровского района, Рязанской области для исследования были отобраны образцы семян зелёной чечевицы сорта «Екатериновская», предварительно прошедшие стандартизацию по размерам: диаметр 6,7мм., ширины 2,5мм. Отбор проб проводился согласно ГОСТ 13586.3-2015. Из отобранных проб были подготовлены семена влажностью 11,7%, 15,8%, 18,2% [6]



Рисунок 3 – пробоотборник зерна ПВА-3



Рисунок 4 – отбор проб семян чечевицы

Для минимизации влияния влажности, температура в помещении, где проводились испытания, поддерживалась постоянной ($\pm 0.5^{\circ}\text{C}$) и контролировалась с помощью высокоточного термометра.

В рамках исследований было проведено 240 измерений, каждое из которых реализовывалось следующим образом: семя чечевицы укладывалось на платформу 4 и с помощью винта 6 осуществлялось давление С-образной пластиной на семя. Сила давления измерялась динамометром ДОСМ-3-0.05, а величина деформации семени –

индикатором часового типа ИЧ 0-10мм. Полученные данные занесены в таблицы для проведения математического и графического анализа.

Таблица 2 – Определение прочности семян чечевицы влажностью 11,7%

Показания динамометра, кГс.	Показания индикатора при сжатии семян чечевицы, мм.										Среднее значение, мм.
10	0,02	0,01	0,03	0,03	0,02	0,03	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02
20	0,04	0,03	0,06	0,06	0,07	0,08	0,06	0,05	0,04	0,03	0,05
30	0,08	0,06	0,10	0,11	0,10	0,14	0,08	0,10	0,09	0,05	0,09
40	0,16	0,18	0,18	0,14	0,12	0,18	0,14	0,15	0,11	0,10	0,15
50	0,18	0,20	0,19	0,18	0,15	0,21	0,18	0,20	0,13	0,17	0,18
60	0,19	0,21	0,21	0,20	0,18	0,22	0,20	0,22	0,16	0,19	0,20
70	0,22	0,22	0,23	0,21	0,20	0,23	0,22	0,23	0,19	0,21	0,22

Таблица 3 – Определение прочности семян чечевицы влажностью 15,8%

Показания динамометра, кГс.	Показания индикатора при сжатии семян чечевицы, мм.										Среднее значение, мм.
10	0,02	0,03	0,05	0,04	0,02	0,05	0,04	0,02	0,05	0,05	0,04
20	0,06	0,15	0,15	0,15	0,09	0,15	0,13	0,09	0,12	0,18	0,13
30	0,09	0,20	0,19	0,22	0,10	0,25	0,15	0,13	0,20	0,20	0,17
40	0,16	0,30	0,28	0,30	0,12	0,40	0,30	0,15	0,40	0,40	0,28
50	0,23	0,40	0,49	0,43	0,28	0,41	0,39	0,24	0,39	0,35	0,36
60	0,33	0,55	0,65	0,55	0,36	0,62	0,47	0,30	0,51	0,49	0,48
70	0,45	0,65	0,63	0,60	0,45	0,66	0,53	0,38	0,58	0,60	0,55
80	0,52	1,15	1,95	0,75	0,55	0,83	0,65	0,40	0,82	0,97	0,86
90	1,12	1,17	1,96	0,95	0,70	1,04	1,15	0,85	1,05	1,09	1,11

Таблица 4 – Определение прочности семян чечевицы влажностью 18,2%

Показания динамометра, кГс.	Показания индикатора при сжатии семян чечевицы, мм.										Среднее значение, мм.
10	0,05	0,06	0,05	0,03	0,06	0,03	0,04	0,07	0,06	0,05	0,05
20	0,08	0,07	0,07	0,06	0,10	0,11	0,08	0,15	0,14	0,10	0,10
30	0,15	0,14	0,13	0,09	0,15	0,16	0,12	0,19	0,18	0,14	0,15
40	0,40	0,40	0,46	0,35	0,47	0,52	0,39	0,42	0,41	0,37	0,42
50	0,55	0,57	0,65	0,60	0,73	0,69	0,56	0,64	0,59	0,61	0,62
60	1,45	1,40	1,90	1,82	1,42	1,51	1,74	1,59	1,62	1,63	1,61
70	1,83	1,80	2,10	2,05	1,96	2,01	1,85	1,79	1,89	1,95	1,72
80	1,94	1,91	2,13	2,11	2,00	2,05	2,02	1,88	1,95	1,99	2,00

На основании полученных средних значений деформации семян чечевицы и силы сжатия построим график и составим таблицу их механических свойств.

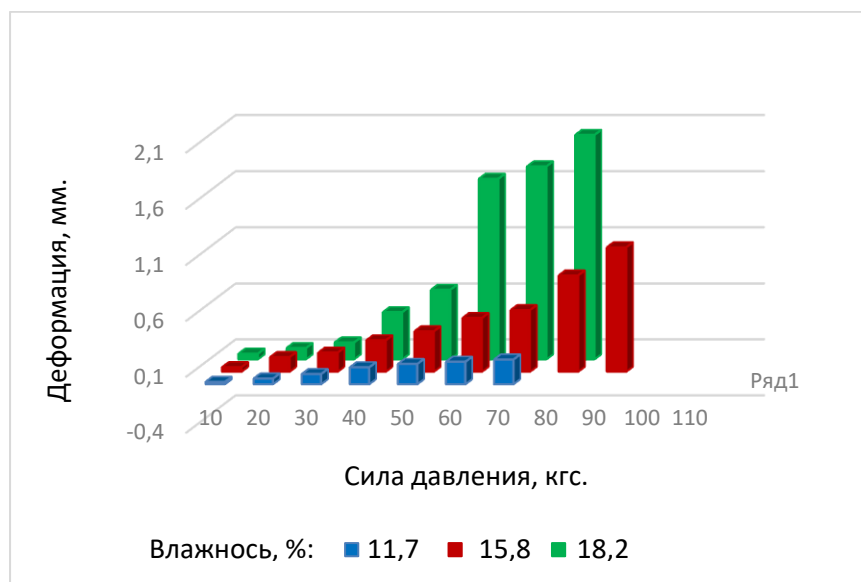


Рисунок 5 – Сравнение прочности семян чечевицы с различной влажностью.

Таблица 5 – Механические свойства семян чечевицы разной влажности

Влажность, %.	Предел прочности, кгс	Деформация, мм.	Механическое напряжение, МПа
11,7	70	0,22	85
15,8	90	1,11	109
18,2	80	2,00	97

Проведённый эксперимент наглядно продемонстрировал прямую зависимость между влажностью семян чечевицы и их механической прочностью. Результаты измерений показали, что уровень влажности существенно влияет на способность семян противостоять деформации и разрушению под воздействием внешних нагрузок. Чем ниже влажность

семян, тем выше их механическая прочность и сопротивляемость деформации. Это объясняется изменениями на молекулярном уровне внутри структуры семени: при низкой влажности межмолекулярные связи более прочны и стабильны, что обеспечивает большую жесткость и сопротивление внешним воздействиям.

Более детально, рассмотрим полученные данные. Семена чечевицы с влажностью 11,7% продемонстрировали высокую прочность на сжатие, достигнув предела прочности в 85 МПа. При этом, деформация перед разрушением составила всего 0,22 мм, что свидетельствует о значительной жесткости и устойчивости к деформации семян с относительно низкой влажностью.

Семена с влажностью 15,8% показали предел прочности 109 МПа с одновременным увеличением и деформации до 1,11 мм. Данные изменения свидетельствуют о росте напряжения, необходимого для разрушения семени чечевицы, но одновременно с этим семена с такой влажностью утратили и свою жесткость. Данный факт связан с ослаблением межмолекулярных связей, что делает структуру семени более гибкой.

Эксперимент с семенами чечевицы влажностью 18,2% показал предел прочности 97 МПа, что является показателем ниже, чем при влажности 15,8%, но выше, чем при влажности 11,7%. При этом наблюдаемая деформация достигла 2 мм, что подтверждает тенденцию к уменьшению жесткости и возрастанию податливости семян с увеличением влажности. Эти данные указывают на наличие нелинейной зависимости между влажностью и прочностью семян чечевицы. В то время как первоначально при влажности от 11,7% до 15,8% наблюдался рост предела прочности, но дальнейшее повышение влажности привело к снижению прочности и значительному увеличению деформации перед разрушением. Таким образом, оптимальная влажность для обеспечения максимальной

механической прочности семян чечевицы составляет около 15,8%, хотя и при этом уровень жесткости уже существенно ниже, чем при 11,7%.

Выводы.

Полученные результаты позволяют не только установить предел прочности семян различных сельскохозяйственных культур, но и детально проанализировать характер их деформации перед разрушением. Проведённые эксперименты создают возможность для разработки рекомендаций по оптимизации работы шнековых транспортёров с целью минимизации механических повреждений семян, что отразится на показателях всхожести и урожайности.

Библиографический список

1. Воробьев Н.А. К вопросу об исследовании разрушения зерна при динамическом и статическом сжатии / Н.А. Воробьев, С.А. Дрозд, Л.Г. Ванькович, Т.В. Паромчик // Минск. – БГАТУ. – 2015. – С. 153–156
2. Гимадиев А.М. Технология обеспечения сохранности зерна / А.М. Гимадиев // Международный журнал экспериментального образования. - 2010. - № 7. - С. 117-117
3. Протравливатель семян ПС-10 / Руководство по эксплуатации ИЯПБ.15.00.00.000-02 РЭ. - Горки : ООО «Ремком», 2018. - 35 с.
4. Скворцова Ю.Г. Посевные качества семян озимой мягкой пшеницы / Ю.Г. Скворцова, Е.В. Ионова // Научно – производственный журнал “Зернобобовые и крупяные культуры”. - 2014. - №4(12). - С. 104-107
5. Тишанинов Н.П. Прибор для исследований деформации и разрушения зерновок при статическом сжатии / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин, С.В. Емельянович // Наука в Центральной России. – 2023. - Т.61, №1. - С. 14-22
6. Челнокова Е.Я. Зерноведение: учебное пособие / Е.Я. Челнокова, Е.В. Волошин. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2007. – 93 с.

REFERENCES

1. Vorob'ev N.A. K voprosu ob issledovanii razrusheniya zerna pri dinamicheskom i staticheskom szhatii / N.A. Vorob'ev, S.A. Drozd, L.G. Van'kovich, T.V. Paromchik // Minsk. – BGATU. – 2015. – S. 153–156
2. Gimadiev A.M. Tehnologija obespechenija sohrannosti zerna / A.M. Gimadiev // Mezhdunarodnyj zhurnal jeksperimental'nogo obrazovanija. - 2010. - № 7. - S. 117-117
3. Protravlivatel' semjan PS-10 / Rukovodstvo po jekspluatacii IJaPB.15.00.00.000-02 RJe. - Gorki : ООО «Remkom», 2018. - 35 s.
4. Skvorcova Ju.G. Posevnye kachestva semjan ozimoy mjagkoj pshenicy / Ju.G. Skvorcova, E.V. Ionova // Nauchno – proizvodstvennyj zhurnal “Zernobobovye i krupjanye kul'tury”. - 2014. - №4(12). - S. 104-107
5. Tishaninov N.P. Pribor dlja issledovanij deformacii i razrusheniya zernovok pri staticheskom szhatii / N.P. Tishaninov, A.V. Anashkin, S.V. Emel'janovich // Nauka v Central'noj Rossii. – 2023. - T.61, №1. - S. 14-22
6. Chelnokova E.Ja. Zernovedenie: uchebnoe posobie / E.Ja. Chelnokova, E.V. Voloshin. – Orenburg: GOU OGU, 2007. – 93 s.