

УДК 631.354:631.362:621.928

UDC 631.354:631.362:621.928

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

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАВМИРОВАНИЯ СЕМЯН ЧЕЧЕВИЦЫ В ШНЕКОВОМ ТРАНСПОРТЁРЕ

STUDY OF LENTIL SEED INJURY IN A SCREW CONVEYOR

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

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

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

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

Основные причины травмирования семян при транспортировке в шнековом транспортере заключаются в механическом воздействии, которое проявляется через трение, сдавливание и удары. Эксперименты, проведенные на модельном шнековом транспортере с различными параметрами, подтвердили прямую зависимость травмирования семян от скорости вращения шнека и влажности семян. В ходе исследований, была установлена зависимость коэффициента трения между семенами и поверхностью шнека от содержания влаги в семенах. Данные были получены с помощью опытного прибора, позволяющего определять соответствующие замеры. Полученные результаты позволяют рекомендовать оптимальные параметры работы шнекового транспортера для минимизации травмирования семян сельскохозяйственных культур

The main causes of injury to seeds during transportation in a screw conveyor consists in mechanical impact, which is manifested through friction, squeezing and impact. Experiments conducted on a model screw conveyor with different parameters confirmed the direct dependence of seed injury on the screw rotation speed and seed moisture content. During the research, the dependence of friction coefficient between seeds and auger surface on seed moisture content was established. The data were obtained with the help of an experimental device, allowing to determine the corresponding measurements. The obtained results allow to recommend optimal parameters of auger conveyor operation to minimize traumatization of crop seeds

Ключевые слова: ТРАВМИРОВАНИЕ СЕМЯН, ШНЕКОВЫЙ ТРАНСПОРТЁР, МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СЕМЯН, ТРЕНИЕ, ВЛАЖНОСТ

Keywords: SEED TRAUMATIZATION, AUGER CONVEYOR, SEED MECHANICAL PROPERTIES, FRICTION, HUMIDITY

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-208-019>

Введение. Применение шнековых транспортёров в сельском хозяйстве чрезвычайно широко. Они используются не только для перемещения зерна непосредственно на элеваторах и зернохранилищах, но и в составе различных сельскохозяйственных машин. Шнековые транспортёры незаменимы на этапах предпосевной подготовки семян. Они используются в системах протравливания, где равномерное перемешивание семян с протравителями является критически важным для обеспечения эффективности обработки. Выбор конкретной модели шнекового транспортёра зависит от ряда факторов, включая производительность, тип транспортируемого материала, длину транспортёра, угол наклона и особенности условий эксплуатации. В целом, шнековые транспортёры являются незаменимым элементом современной сельскохозяйственной техники, обеспечивающим транспортировку зерна на всех этапах его производства и обработки [2,4].

Травмирование семян при транспортировке шнековым транспортером – серьезная проблема, приводящая к снижению всхожести и урожайности. Основной причиной повреждений является механическое воздействие, проявляющееся в виде трения, сжатия и ударных нагрузок [1]. Эти воздействия зависят от ряда взаимосвязанных факторов. Трение, например, не просто зависит от скорости перемещения семян, но и от материала самого шнека (сталь, пластик, композиты) и его шероховатости. Более шероховатая поверхность увеличивает коэффициент трения, что особенно критично при высокой скорости транспортировки. Кроме того, форма витков шнека играет существенную роль. Острые кромки и неровности на витках создают дополнительные точки концентрации напряжений, приводя к локальным повреждениям оболочки семени, даже при относительно низкой скорости.

Проблема и цель.

Шнековые транспортеры являются неотъемлемой частью технологического процесса в сельском хозяйстве, обеспечивающие перемещение различных сыпучих материалов, в том числе и семян. Однако, несмотря на свою эффективность, использование шнеков может привести к механическим повреждениям семян, снижающим их всхожесть и урожайность. Понимание факторов, влияющих на степень повреждения, и применение соответствующих мер по оптимизации конструкции шнека, режима работы и технического обслуживания позволяют значительно снизить потери и сохранить качество зерна. Выбор наиболее подходящего типа транспортера для конкретных условий, с учетом особенностей зерна и требований к его сохранности, является ключевым фактором для обеспечения эффективной и безопасной транспортировки. В конечном итоге, минимизация повреждений семян при транспортировке – это ключевой фактор повышения эффективности и рентабельности сельскохозяйственного производства.

Цель данного исследования заключалась в снижении механических повреждений семян, происходящих во время транспортировки шнековыми конвейерами. В перспективе, результаты данного исследования могут быть использованы для разработки новых конструкций шнековых транспортёров с улучшенными характеристиками бережной транспортировки семян.

Материалы и методы исследования.

Процесс транспортировки семян является важной частью агрономической технологии, и его эффективность напрямую зависит от понимания физических свойств материалов, с которыми мы работаем.

В соответствии с ГОСТ 13586.3-2015 на семенном складе ООО «Мир», расположенного по адресу – Рязанская область, Александровский район, с. Студёнки, были отобраны семена чечевицы сорта

«Екатериновская», из которых подготовлено 18 партий семян влажностью 11,7%, 15,8%, 18,2% (рисунок 1).



а – замер влажности зерна; б - влагомер зерна Wile 55; в – весы электронные с чашей.

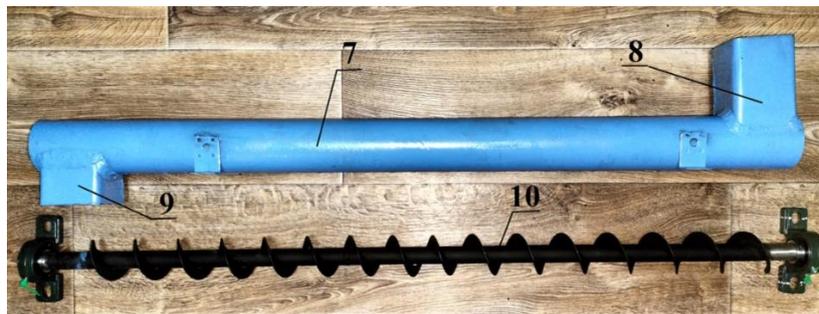
Рисунок 1 – Оборудование для оценки проб семян чечевицы

Для проверки динамики травмирования семян шнеками был создан опытный образец шнекового транспортёра длиной 1 метр, диаметром шнека 70 мм, диаметр трубы 80 мм (рисунок 2). В транспортёре предусмотрен регулятор скорости вращения шнека от 0 до 900 оборотов в минуту.

Каждая партия семена пропусклась через опытный образец шнекового транспортёра с заданной скоростью вращения шнека, а полученный результат травмирования семян подсчитывался с помощью цифрового микроскопа Mustool G1200 имеющего функцию увеличения от 1 до 1200X.



а



б

а – лабораторная установка для изучения повреждений семян;

б – составные части установки.

1-корпус; 2-электропривод; 3-регулятор оборотов; 4-бункер для семян; 5-загрузочный лоток; 6-платформа для крепления; 7 -корпус шнека; 8-загрузочный патрубок; 9-разгрузочный патрубок; 10-шнек.

Рисунок 2 – Опытный образец шнекового транспортёра

Экспериментальные исследования показали, что степень повреждения семян чечевицы при транспортировке шнековым транспортёром, напрямую зависит от их влажности.

Таблица 1 – Результаты эксперимента травмирования семян

влаж-ность семян, %	травмирование семян до начала эксперимента, %	травмирование семян шнеком, %					
		об/мин 100	об/мин 125	об/мин 150	об/мин 257	об/мин 400	об/мин 525
11,7	5,20	2,72	3,10	4,09	6,91	8,00	9,09
15,8	5,20	1,37	1,69	1,97	2,94	3,43	3,92
18,2	5,20	1,73	2,00	2,55	3,60	3,99	4,55

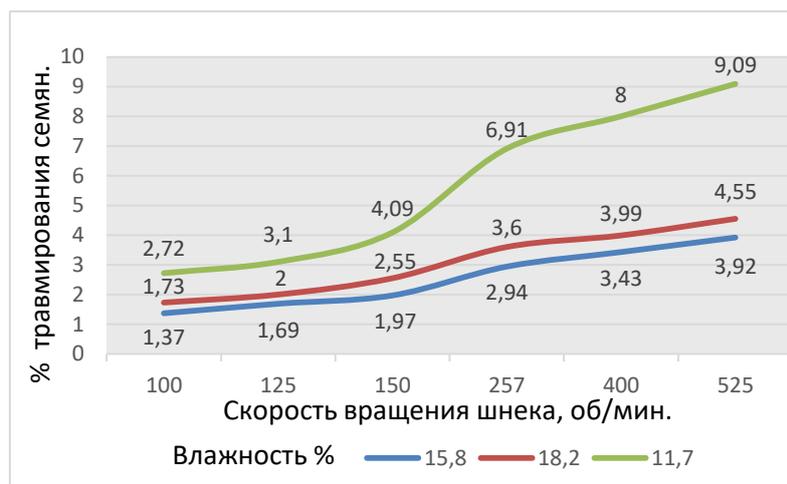


Рисунок 3 – Травмирование семян шнековым транспортёром

Наименьшее количество повреждений наблюдалось при влажности зерна 15,8%. Это объясняется оптимальным сочетанием упругих и пластических свойств семян при данной влажности. Под воздействием механических напряжений, возникающих при контакте с металлической поверхностью шнека, зерно деформируется, но не разрушается благодаря эластичности клеточных стенок и достаточной влагосодержанию, обеспечивающим необходимую пластичность. Зерно как бы "амортизирует" удар, распределяя нагрузку по всей своей поверхности, предотвращая образование критических трещин.

В противоположность этому, при низкой влажности (11,7%, которая считается нормированной для хранения), семена чечевицы становятся очень хрупкими. Низкое содержание влаги приводит к уменьшению эластичности клеточных стенок, снижению межклеточного

взаимодействия и повышению хрупкости всего зерна. При контакте со шнеком, даже при небольших механических нагрузках, семена легко ломаются, образуя трещины и осколки. Это обусловлено более жестким и ломким поведением материала при деформации. Внутренние напряжения не распределяются эффективно, и локализованная нагрузка приводит к катастрофическому разрушению. Это наиболее критичный уровень влажности с точки зрения механических повреждений.

Повышение влажности до 18,2% также приводит к увеличению количества поврежденных семян по сравнению с оптимальным показателем 15,8%. Хотя на первый взгляд кажется, что повышенная влажность должна способствовать большей пластичности, на практике происходит обратное. При избытке влаги увеличивается коэффициент трения между семенами и металлической поверхностью шнека. Это приводит к увеличению сил трения, которые действуют на семена во время перемещения по шнеку. В результате семена испытывают более интенсивное истирание, что способствует появлению микротрещин и повреждениям поверхностного слоя. Кроме того, избыток влаги может способствовать набуханию и размягчению наружной оболочки зерна, делая его более чувствительным к механическим повреждениям.

Следует отметить, что помимо влажности, на степень повреждения семян чечевицы при механической обработке влияют и другие факторы, такие как скорость вращения шнека, угол наклона, геометрия шнека, размеры и форма семян, а также наличие посторонних примесей. Все эти факторы взаимодействуют между собой, и их влияние может быть как аддитивным, так и синергетическим. Поэтому оптимизация технологического процесса транспортировки и обработки чечевицы требует учета всех этих факторов для минимизации повреждений и сохранения качества продукции. Дальнейшие исследования могут быть направлены на изучение влияния различных конструкций шнеков и

режимов работы на степень травмирования семян при различных уровнях влажности, что позволит разработать оптимальные технологические параметры для минимизации потерь.

Представленная диаграмма на рисунке 3 демонстрирует зависимость уровня повреждения семян от скорости вращения шнека. Анализ графика показывает нелинейную корреляцию между этими двумя параметрами. В диапазоне скоростей от 100 до 150 оборотов в минуту наблюдается относительно умеренный рост количества поврежденных семян. Можно предположить, что в этом интервале механическое воздействие шнека еще недостаточно интенсивно, чтобы вызвать значительные повреждения. Скорее всего, небольшое количество травм связано с незначительным сжатием и трением семян о стенки шнека и друг о друга.

Однако, при увеличении скорости вращения шнека с 150 до 257 об/мин наблюдается резкий, экспоненциальный скачок в количестве поврежденных семян. Это указывает на критический порог, после которого механическое воздействие становится чрезмерным. Вероятно, на этом этапе возникают значительные ударные нагрузки на семена, приводящие к разрывам оболочек, повреждению зародыша и потере всхожести. Такой резкий рост может быть объяснен несколькими факторами: увеличением центробежной силы, воздействием более высоких ударных нагрузок при контакте семян со стенками шнека, а также возросшей интенсивностью трения между семенами. Конструкция самого шнека, в частности, его геометрия и материал, также могут существенно влиять на характер повреждений. Например, зазубрины или неровности на поверхности шнека могут усиливать травмирующее воздействие.

После достижения скорости 257 об/мин график снова демонстрирует более плавный, хотя и продолжающийся, рост уровня повреждения семян. Это может объясняться тем, что после достижения

критической точки дальнейшее увеличение скорости приводит к более равномерному распределению ударных нагрузок, хотя и уровень повреждений остается значительным. Возможно, при очень высоких скоростях семена просто разрушаются полностью, и количество частично поврежденных остается относительно стабильным. Полученные данные позволяют определить оптимальный диапазон скоростей вращения шнека, обеспечивающий минимальное повреждение семян при достижении необходимой степени обработки.

Для всестороннего анализа механических свойств семян чечевицы были проведены замеры по определению их прочности и деформации под воздействием силы сжатия.

Таблица 2 – Механические свойства семян чечевицы разной влажности

Влажность, %.	Предел прочности, кгс	Деформация, мм.	Механическое напряжение, МПа
11,7	70	0,22	15,3
15,8	90	1,11	19,6
18,2	80	2,00	17,5

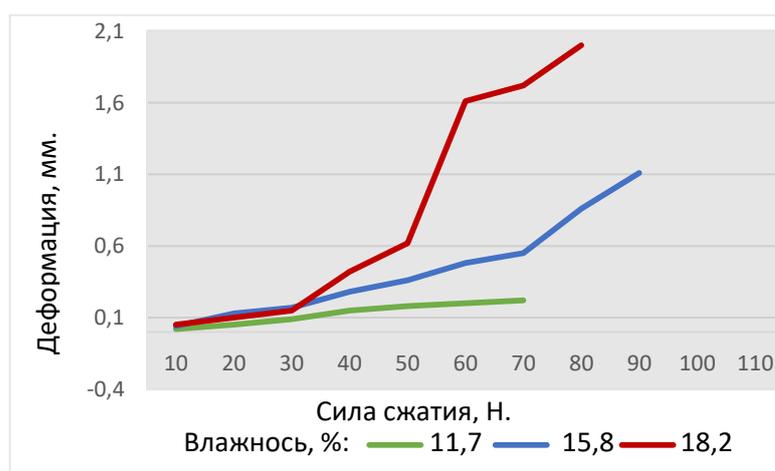


Рисунок 4 – Деформация семян чечевицы разной влажности

Полученные данные демонстрируют зависимость жесткости семян от их влажности. Более сухие семена чечевицы обладают большей прочностью и сопротивляемостью деформации по сравнению с более влажными семенами. Влажные семена легче деформируются и обладают меньшей прочностью.

В ходе экспериментов проведён анализ времени перемещения семян чечевицы по шнековому транспортёру, который показал существенную зависимость от их влажности. По результатам полученных измерений был составлен график, на котором отчётливо видно, как движутся сухие и влажные семена.

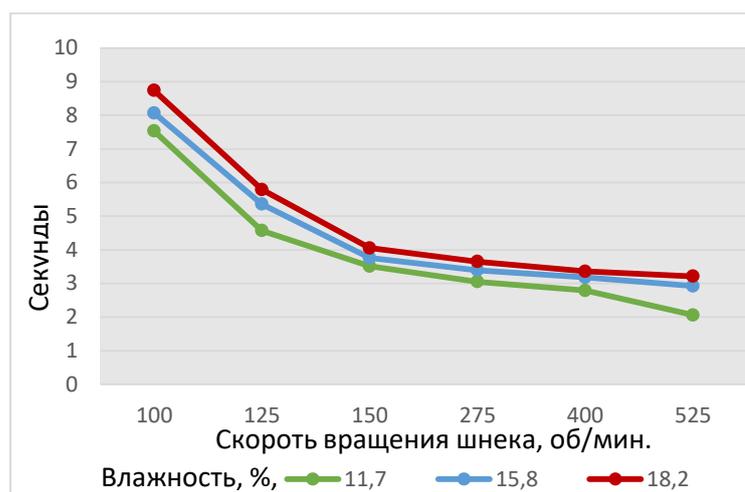


Рисунок 5 – Движение семян разной влажности по шнековому транспортёру

Сухие семена проходят путь значительно быстрее, чем влажные. Это обусловлено несколькими взаимосвязанными факторами, влияющими на трение и сцепление семян между собой и со стенками шнека.

Во-первых, влажные семена обладают большей адгезией. Вода на поверхности семян создаёт плёнку, способствующую образованию более сильных межмолекулярных сил прилипания, что затрудняет их

продвижение вдоль шнека. Этот эффект особенно заметен при высокой влажности.

Во-вторых, влажность увеличивает коэффициент трения. Трение возникает между семенами, а также между семенами и внутренней поверхностью шнека. Повышенная влажность увеличивает силу трения, так как вода действует как смазка с небольшим коэффициентом трения лишь в начальный момент, а затем, из-за впитывания воды в шероховатости поверхности семян, силы сцепления увеличиваются, замедляя процесс транспортировки. Сухие семена, напротив, обладают меньшим коэффициентом трения, более свободно перемещаются, и их прохождение по шнеку происходит значительно быстрее.

Наконец, скорость вращения шнека также имеет важное значение. Увеличение скорости вращения может компенсировать замедление, вызванное влажностью семян, но при слишком высокой скорости возможно повреждение семян и увеличение износа оборудования. Поэтому необходимо подбирать оптимальный режим работы шнекового транспортёра с учетом влажности перемещаемого материала. Применение специальных покрытий для внутренней поверхности шнека, уменьшающих трение, также может повысить эффективность транспортировки влажных семян.

Анализируя полученные результаты становится ясно, что одним из важных параметров, влияющих на транспортировку, является и коэффициент трения. Этот показатель необходим для оптимизации всего технологического процесса, начиная от уборки, сортировки, сушки, хранения и заканчивая подготовкой к севу.

Коэффициент трения — это величина, которая характеризует сопротивление движению между двумя поверхностями. В контексте транспортировки семян, это сопротивление может возникать как во время их перемещения по различным поверхностям, так и внутри самих семян.

Знание коэффициента трения позволяет инженерам и агрономам разрабатывать более эффективные системы транспортировки, минимизируя потери и повреждения семян [6].

Одним из самых простых и надёжных способов определения коэффициента трения является метод наклонной плоскости. Этот метод заключается в наклоне поверхности и измерении угла, при котором семена начинают двигаться [5].

Прибор (рисунок 5) представляет собой платформу, выполненную из половины трубы шнекового транспортёра, имеющей С-образную форму. Эта конструкция снабжена подъёмным механизмом, который позволяет изменять угол наклона платформы относительно горизонта. На платформе также имеется измерительная шкала, что позволяет точно фиксировать угол наклона в момент начала движения семян.



Рисунок 6 - Платформа для измерения угла скольжения семян чечевицы



Рисунок 7 - Определение угла скольжения семян чечевицы

В рамках эксперимента использовались семена чечевицы с различной влажностью. Уровень влажности является важным фактором, влияющим на физические свойства семян, включая их трение. Более влажные семена могут иметь другое поведение при транспортировке по сравнению с сухими, что делает необходимым исследование коэффициента трения для каждого уровня влажности.

Эксперимент начинается с установки платформы на горизонтальной поверхности. Затем на платформу помещаются семена чечевицы определённого объёма, и постепенно изменяется угол наклона. В момент, когда семена начинают двигаться, фиксируется угол наклона, который соответствует началу скольжения. Этот угол и будет служить основой для расчёта коэффициента трения [3].

Коэффициент трения рассчитаем по формуле:

$$f = tg \alpha , \quad (1)$$

где α – угол наклона плоскости.

Рассчитаем также среднеквадратическое отклонение для оценки степени неоднородности данных. Он покажет, насколько проведённые измерения разбросаны вокруг их среднего значения. Чем меньше это значение, тем более сходными (или точными) были бы проведённые измерения.

Для оценки степени колебания показателей относительно среднего значения выборки рассчитаем коэффициент вариации. В статистике принято, что при коэффициенте вариации меньше 10%, степень рассеивания данных считается незначительной, если коэффициент от 10% до 20% - средней, больше 20% и меньше или равно 33% - значительной.

Коэффициент вариации рассчитаем по формуле:

$$v = \frac{\sigma}{\bar{x}} \times 100 , \quad (2)$$

где σ - среднеквадратическое отклонение,

\bar{x} - среднее значение.

Таблица 3 – Результаты измерений угла скольжения

№ опыта	Угол наклона платформы, градусов.						
	Влажно сть 9,3%	Влажно сть 12,4%	Влажно сть 14,5%	Влажно сть 16,6%	Влажно сть 18,5%	Влажно сть 20,4%	Влажн ость 22,7%
1	23	25	26	27	28	30	29
2	24	24	25	28	29	29	31
3	23	25	25	26	28	28	30
4	24	23	25	27	28	29	29
5	23	25	26	26	27	28	31
Среднее значение, \bar{x}	23,4	24,4	25,4	26,8	28,0	28,8	30,0
Среднеквадратическое отклонение σ	0,49	0,80	0,49	0,75	0,63	0,75	0,89
Коэффициент вариации v , %	2,09	3,28	1,93	2,80	2,25	2,60	2,97
Коэффициент трения	0,43	0,45	0,47	0,51	0,53	0,55	0,58

Показатели среднеквадратического отклонения и коэффициента вариации говорят о том, что измерения довольно точные и однородные, а разброс между ними небольшой. Таким образом результаты измерений близки к истинному значению.

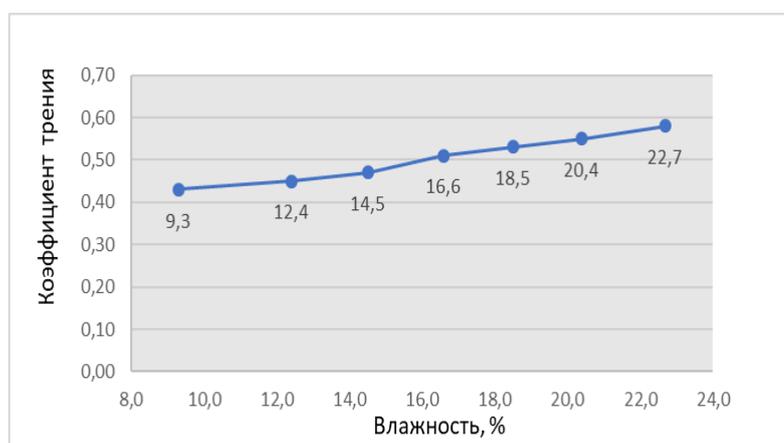


Рисунок 8 – Зависимость коэффициента трения от % влажности семян

Проведённые исследования показали, что влажность семян является одним из наиболее значимых факторов, определяющих величину

коэффициента трения. Результаты расчётов подтверждают прямую зависимость между влажностью семян и коэффициентом трения.

Семена с влажностью 9,3% продемонстрировали коэффициент трения, равный 0,43. Это означает, что на гладкой металлической поверхности они скатываются относительно легко, преодолевая относительно небольшое сопротивление. Поверхность таких семян более шероховатая на микроскопическом уровне, что обеспечивает определённое сцепление с металлом. Однако, низкая влажность ограничивает капиллярные силы, способствующие сцеплению между семенами и поверхностью.

При увеличении влажности до 22,7%, коэффициент трения вырос до 0,58. Дополнительная влага приводит к образованию тонкой плёнки воды на поверхности семян, увеличивая адгезию. Это увеличивает силу трения, замедляя скатывание.

Выводы.

Проведённый анализ показал, что влажность семян является одним из ключевых факторов, влияющих на их механические повреждения. Оптимальный уровень влажности семян, составляющий 15,8%, обеспечивает наименьшую степень травмирования благодаря сочетанию упругих и пластических свойств, позволяя семенам амортизировать механические нагрузки. В то же время, как низкая влажность (11,7%) делает семена хрупкими, увеличивая вероятность их повреждения, так и высокая влажность (18,2%) приводит к увеличению коэффициента трения и, как следствие, к большему количеству микроповреждений.

Кроме того, мы выявили зависимость уровня повреждений от скорости вращения шнека: с увеличением скорости выше 150 об/мин наблюдается резкий рост травмирования семян, что указывает на

необходимость тщательной настройки параметров транспортировки для минимизации потерь.

Библиографический список

1. Ахматов А.А. Травмирование зерна шнековым питающим устройством / А.А. Ахматов, В.И. Оробинский, В.Н. Солнцев // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2015. – № 4 (47). – С. 98-101
2. Григорьев, А.М. Винтовые конвейеры / А.М. Григорьев // М., Машиностроение, - 1972. – С.184
3. Димитов В. П. Методические указания для выполнения практической работы «Однофакторный эксперимент. Определение коэффициента трения семян» по дисциплине «Основы теории эксперимента» / В.П. Димитров В. П, Е.М. Зубрилина, И.А. Маркво, В.И Новиков // Ростов-на-Дону. - ДГТУ. - 2018. - 29 с.
4. Нуруллин, Э.Г. Экспериментальное исследование травмирования семян в сельскохозяйственных машинах / Э.Г. Нуруллин, Р.А. Файзуллин // Вестник Казанского ГАУ. – 2022. - № 2(66). – С. 99-05
5. Тупольских Т.И. Определение статического коэффициента внешнего трения массивов сыпучих продуктов / Т.И. Тупольских, О.Р. Киришиев, Д.Н. Савенков, Н.В. Гучева, Ю.О. Киришиева // Инженерный вестник Дона. – 2019. - №1. - С. 343-346
6. Хижняк В.И. Проектирование и расчёт пропашных сеялок: учебное пособие по курсовому и дипломному проектированию / В.И. Хижняк, А.Ю. Несмиян, Ф.В. Авраменко // Зерноград: ФГБОУ ВПО ДГАУ. – 2015. – 114с.

References

1. Axmatov A.A. Travmirovaniye zerna shnekovy`m pitayushhim ustrojstvom / A.A. Axmatov, V.I. Orobinskij, V.N. Solncev // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2015. – № 4 (47). – S. 98-101
2. Grigor`ev, A.M. Vintovy`e konvejery` / A.M. Grigor`ev // M., Mashinostroenie, - 1972. – S.184
3. Dimitov V. P. Metodicheskie ukazaniya dlya vy`polneniya prakticheskoy raboty` «Odnofaktorny`j e`ksperiment. Opredelenie koe`fficienta treniya semyan» po discipline «Osnovy` teorii e`ksperimenta» / V.P. Dimitrov V. P, E.M. Zubrilina, I.A. Markvo, V.I Novikov // Rostov-na-Donu. - DGTU. - 2018. - 29 s.
4. Nurullin, E`.G. E`ksperimental`noe issledovanie travmirovaniya semyan v sel`skoxozyajstvenny`x mashinax / E`.G. Nurullin, R.A. Fajzullin // Vestnik Kazanskogo GAU. – 2022. - № 2(66). – S. 99-05
5. Tupol`skix T.I. Opredelenie staticheskogo koe`fficienta vneshnego treniya massivov sy`puchix produktov / T.I. Tupol`skix, O.R. Kirishhiev, D.N. Savenkov, N.V. Gucheva, Yu.O. Kirishhieva // Inzhenerny`j vestnik Dona. – 2019. - №1. - S. 343-346
6. Xizhnyak V.I. Proektirovaniye i raschyot propashny`x seyaloek: uchebnoe posobie po kursovomu i diplomnomu proektirovaniyu / V.I. Xizhnyak, A.Yu. Nesmiyan, F.V. Avramenko // Zernograd: FGBOU VPO DGAU. – 2015. – 114s.