

УДК 631.53

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СЕМЯН И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЙ ИХ ПОДГОТОВКИ

Дондоков Юрий Жигмитович

кандидат технических наук, доцент

Арктический государственный агротехнологический университет, г. Якутск, Россия

Юсупов Шабони Тагоевич

доктор технических наук, доцент

Арктический государственный агротехнологический университет, г. Якутск, Россия

Дринча Василий Михайлович

доктор технических наук, профессор

Арктический государственный агротехнологический университет, г. Якутск, Россия

vdrincha@list.ru

Аммосов Иннокентий Николаевич

старший преподаватель

Арктический государственный агротехнологический университет, г. Якутск, Россия

Аннотация. Обобщены результаты исследований физических свойств семян сельскохозяйственных культур за последние 100 лет. Определены три периода проведения исследований: первый – начало 20 века до второй мировой войны; второй – от второй мировой войны до 1990-х годов; третий – начало 2000-х годов по настоящее время. Показана связь между проводимыми исследованиями физических свойств семян и развитием технологий послеуборочной обработки и подготовки семян. Показано, что физические свойства семян представляют собой исходные положения и являются основой при проектировании машин и технологических процессов для посева, уборки, послеуборочной обработки и предпосевной подготовки семян. Определены физические свойства семян, которые могут использоваться в семенных сепараторах: размерные характеристики, форма, плотность, состояние поверхности, способность всплывать на поверхность жидкости или псевдоожиженного слоя, цвет, упругость, электрическая проводимость, флюоресценции хлорофилла. Обобщены размерные характеристики семян с.-х. культур, а также семян сорняков. Описаны особенности сепарации семян по толщине, ширине и длине. Показано, что в процессе сепарации по размерным характеристикам существенное влияние на процесс оказывает форма зерновок. Установлено, что дальнейшее развитие технологий подготовки семян на существующих знаниях о физических свойствах семян неэффективно. Для развития технологий подготовки семян нового поколения требуется проведение системных исследований физических свойств семенных материалов в различных почвенно-климатических зонах страны.

Ключевые слова: физические свойства семян, технологии подготовки семян, качество семян, линейные размеры, плотность, фрикционные свойства, угол естественного откоса.

PHYSICAL PROPERTIES OF SEED AND DEVELOPMENT THE TECHNOLOGIES FOR SEED PREPARATION

Yuriy Zh. Dondokov

PhD in engineering science, Associate Professor
Arctic State Agrotechnological University, Yakutsk, Russia

Shaboni T. Yusupov

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor
Arctic State Agrotechnological University, Yakutsk, Russia

Vasilii M. Drincha

Doctor of Technical Sciences, Professor
Arctic State Agrotechnological University, Yakutsk, Russia, vdrincha@mail.ru

Innokentiy N. Ammosov

Senior Lecturer
Arctic State Agrotechnological University, Yakutsk, Russia

Abstract. The results of studies of the physical properties of agricultural seeds over the past 100 years are summarized. Three periods of research have been identified: the first – the beginning of the 20th century before the Second World War; the second - from the Second World War to the 1990s; third – early 2000s to present. The relation is shown between conducting research on the physical properties of seeds and developing technologies for post-harvest processing and seed preparation. It is shown that the physical properties of seeds represent the starting points and are fundamental in the design of machines and technological processes for sowing, harvesting, post-harvest processing and pre-sowing preparation of seeds. The physical properties of seeds that can be used in seed separators have been determined: dimensional characteristics, shape, density, surface condition, ability to float to the surface of a liquid or fluidized layer, color, elasticity, electrical conductivity, chlorophyll fluorescence. The size characteristics of agricultural seeds are generalized. crops, as well as weed seeds. The features of seed separation by thickness, width and length are described. It is shown that in the process of separation according to different characteristics, the shape of the grains has a significant influence on the process. It has been established that further development of seed preparation technologies based on existing knowledge about the physical properties of seeds is ineffective. To develop technologies for the preparation of new generation seeds, it is necessary to conduct systematic research using seed materials in various soil and climatic zones of countries.

Keywords: Physical properties of seed, seed preparation technologies, seed quality, linear dimensions, density, friction properties, angle of repose.

Введение

Семена – это уникальный вид сельскохозяйственной продукции, имеющей многофункциональное применение в качестве пищи, волокна и сырья для промышленных целей. Они представляют собой тщательно упакованные формы эмбриональной жизни со встроенным запасом пищи. Семя может сохранять жизнеспособность в течение многих лет в подходящей среде, а затем, при попадании в благоприятные условия произрастания, оно может прорасти и завершить свой жизненный цикл, как будто никакой задержки не произошло. Например, семена лотоса после предполагаемого периода хранения 800...1200 лет были всхожими [8, 20].

Семена – это основа жизни растений, производители высевают их, чтобы вырастить урожай, приносящий им доход. Чем выше качество семян, тем больше объем и качество выращенного урожая, следовательно, и выше экономическая эффективность всей отрасли зернопроизводства.

При естественном размножении растений семена могут переноситься из одного региона в другой, дрейфуя в воздухе, прилипая к шерсти животных или одежде людей, перемещаясь по земле, как перекасти-поле, проходя через пищеварительный тракт птиц или животных и перемещаются на большие расстояния водными потоками.

Семена имеют чрезвычайно важное значение для человечества. Было подсчитано, что, если бы мир был лишен семян и урожая, который они производят, хотя бы на один год, практически все человечество и животный мир исчезли бы с земли из-за голода.

Семенной материал, собранный традиционными зерновыми комбайнами, содержит различные виды и количества примесей, обычно относящиеся к минеральной или органической примесям [1, 10, 18]. Перед реализацией и/или высевом партии семян необходимо выделить из семенного материала семена сорняков, инертный материал, семена других культурных растений, малопродуктивные и/или не всхожие семена основной культуры, чтобы обеспечить соответствие посеваемого зерна требуемым государственным стандартам.

Федеральный закон о семенах требует, чтобы высеваемые, продаваемые и транспортируемые семена соответствовали определенным минимальным стандартам чистоты и всхожести и не содержали семян карантинных и других сорных растений. Для соответствия требованиям государственных стандартов семенной материал должен пройти предпосевную обработку, при этом часто требуется проведение тщательной послеуборочной обработки, включая дополнительный обмолот, удаление остей, а в некоторых случаях требуется двукратная обработка на одной и той же технологической линии подготовки семян.

Для очистки зерна в России в конце 19 века стали появляться первые простейшие машины с ручным приводом, которые называли веялками. С того момента становление послеуборочной обработки зерна основывалось на эволюционном развитии экспериментальных исследований физических свойств.

Исследования, посвященные физическим свойствам семян, можно разделить на три периода: первый – начало 20 века до второй мировой войны; второй – от второй мировой войны до 1990-х годов; третий – начало 2000-х годов по настоящее время.

Количество исследований в первом периоде было совсем небольшим не только в России, но и за рубежом. К этому периоду относятся первые исследования, посвященные размерным и аэродинамическим свойствам семян, а также плотности семян. Появляются исследования теплофизических свойств семян [12, 13, 23].

Второй период характеризуется лавинообразным увеличением количества исследований, посвященных физическим свойствам семян. В 50-х годах прошлого века на базе многочисленных исследований физических свойств семян в с.-х. внедряется поточная технология послеуборочной обработки зерна и подготовки семян, что обеспечило не только повышение производительности труда, но и повышение качества подготовки семян [3, 16].

Для третьего периода характерно уменьшение количества исследований, а разработка технологий подготовки семян основывается на знаниях и экспериментальных исследованиях физических свойств семян, проведенных до 1990-х годов [14, 17, 21].

Следует заметить, что исследования физических свойств семян проводили с разными целями, не только для разработки технологий подготовки семян. Ряд исследований посвящен влиянию технологий возделывания сельскохозяйственных культур, а также почвенно-климатических условий на физические свойства семян [4, 5, 11]. Относительно много исследований было уделено влиянию влажности на физические свойства семян [6, 24, 25]. Некоторые исследования были направлены вопросам повышения точности дозирования семян в сеялках [15].

Проведенный анализ исследований физических свойств семян сельскохозяйственных культур показал, что практически все они проводились по разрозненным методикам, нередко случаи, когда полученные результаты противоречивые.

Целью статьи является анализ и обобщение, а также проведение исследований физических свойств семян основных зерновых культур, представляющих научный базис совершенствования и разработки перспективных технологий подготовки семян.

Материалы и методы исследования

В качестве основного метода исследований применяли аналитический метод анализа и обобщения результатов исследований семян сельскохозяйственных культур отечественных и зарубежных авторов на протяжении последних 100 лет, начиная с начала 20 века.

Материалы обобщенных исследований дополняли собственными многочисленными исследованиями физических свойств семян, проводимыми в течение последних 40 лет.

Исследования преимущественно проводили на семенах основных зерновых культур с применением стандартных методик, а в отдельных случаях разрабатывались частные методики для определения специфических свойств семян.

Результаты и обсуждение

Стремясь увеличить производство семян, сохраняя при этом присущее им высокое качество, ученые изучают их физические, химические и ботанические свойства семян. С инженерной точки зрения эти свойства можно применить в качестве исходных положений при проектировании машин и технологических процессов для семеноводства, например, посева, уборки, предпосевной подготовки и испытания.

Применение инженерного проектирования в технологических процессах производства семян осложняется чрезвычайно широким диапазоном их физических свойств. Например, объем семян варьируется от семян орхидей (которые настолько мелкие, что в 1 кг семян содержится около 100 миллионов семян) до семян сейшельской пальмы, которые весят до 100 кг. С другой стороны, семена разных сортов могут быть очень схожими по большинству свойств и могут отличаться друг от друга только особыми свойствами, например, присутствием остей или формой колоскового стержня (на котором располагаются семена).

Физические свойства, которые могут быть реализованы в зерновых сепараторах следующие: размерные характеристики, форма, плотность, состояние поверхности, способность всплывать на поверхность жидкости, цвет, упругость, электрическая проводимость, флюоресценции хлорофила [2, 7].

Размерные характеристики или линейные размеры семян относятся к свойствам, в общем определяющим, какой объем занимает зерновка в допустимых пределах эти свойства могут быть описаны терминами длины, толщины и ширины, например, для семян основных зерновых культур они обозначаются следующим образом (рис. 1).

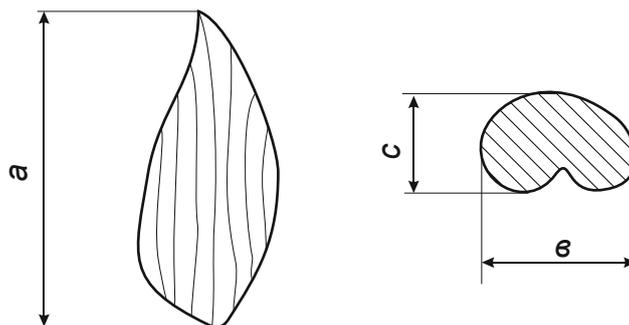


Рис. 1. Линейные размеры семян основных зерновых культур:

а – длина; в – ширина; с – толщина.

Хотя мало семян по форме близких к геометрической форме кирпича, такая терминология принята главным образом для того, чтобы многие виды семян можно было различать между собой. Несмотря на то, что разные виды семян существенно различаются по размерным свойствам, также имеется существенное различие внутри одного вида семян (табл. 1).

**Таблица 1. Физические свойства семян культурных растений
(влажность 14-17%)**

Культуры	Размеры, мм			Массовые хар.			Коэффициенты трения				
	Длина	Ширина	Толщина	1000 шт семян, гр	Объемная масса, кг/дм ³	Плотность, г/см ³	По дереву		По железу		Угол естественного отско-
							статический	динамический	статический	динамический	
Озимая пшеница	4,8– 8,0	1,8 – 4,0	1,6 – 3,6	45	0,7 – 0,83	1,216	0,58	0,36	0,58	0,36	32
Яровая пшеница	4,0– 8,6	1,6– 3,8	1,4 – 3,8	32	0,67– 0,79	-	-	-	-	0,37	-
Рожь	5,0– 9,8	1,4 – 3,4	1,0 – 3,4	23,40	0,63– 0,79	-	0,78	0,37	0,58	0,36	29
Ячмень	7,0– 14,6	2,0 – 5,0	1,2 – 4,5	34,05	0,55– 0,75	-	0,78	0,37	0,58	0,36	32
Овес	8,0– 18,6	1,4 – 4,0	1,0 – 4,0	24,80	0,4– 0,51	1,2	0,7	0,32	0,58	0,37	34
Подсолнечник	14 – 17	8-11	2-6	80	-	-	-	-	-	-	-
Орех кокосовый	190- 250	151- 195	140- 165	1,5- 2,5*	-	-	-	-	-	-	-

Лен	3,5- 7,0	1,9 – 3,7	0,6 – 3,1	3,7	0,66	-	-	0,31	-	0,34	-
Клевер красный	1,5– 3,0	1,0 – 2,0	0,7 – 1,3	1,53	-	-	-	-	-	-	-
Полевица газон- ная	1,0- 2,2	0,15- 0,45	0,13- 0,4	0,06	-	-	-	-	-	-	-
Леспедеца	1,6- 3,4	1,1- 2,3	0,8- 1,5	5	-	-	-	-	-	-	-

* - вес одной штуки.

Различие в диапазонах размерных свойств семян позволяют их отличать между собой.

Известные экспериментальные методы определения и анализа размерных свойств семян являются очень важными для практического выбора типов решет и их и величины их отверстий [9, 19, 22].

Знание размеров семян, в частности их длины также очень важно при выборе ячеек триерных цилиндров или триерных дисков. Кроме того, размерные свойств семян необходимо знать при выборе дозирующих систем сеялок точного высева, а также при определении зазоров молотильного барабана и деки зерновых комбайнов и отверстий решет их очистки.

При проектировании технологий подготовки семян, а также при выборе типов машин и их параметров важное значение имеет знание не только физических свойств семян культурных растений, но также и свойства семян сорняков, которые необходимо выделить из исходных семенных смесей (табл. 2).

Таблица 2. **Физические свойства семян сорняков (влажность 14-17 %)**

Семена сорных растений	Размеры в мм			Вес 1000 шт. в гр.
	Длина	Ширина	Толщина	
Куколь	2,8 – 4,4	2,0 – 2,8	1,6 – 2,8	10,65
Василек	2,8 – 4,8	1,2 – 2,2	0,8 – 1,6	4,05
Подмаренник	1,6 – 2,8	1,6 – 2,4	1,2 – 2,0	-
Плюшка	2,0 – 3,2	1,4 – 3,0	0,6 – 1,6	2,69
Плевел	4,0 – 7,6	0,8 – 2,6	1,0 – 2,4	3,49
Овсюг	10,0 – 15,6	1,2 – 3,2	1,4 – 3,0	30,14
Повилика льняная	0,9 – 1,2	-	-	-
Повилика клеверная	0,5 – 1,4	-	-	0,7
Горчак розовый	3,0 – 4,0	-	1,0 – 1,8	-
Смолёвка	1,2 - 1,5	1,0 – 1,2	0,8 – 1,0	0,9
Подорожник	-	1,2 – 1,5	-	1,0

Анализ физических свойств семян культур растений и семян сорняков (табл. 1 и табл. 2) показывает, что вроде между ними имеются существенные отличия, но в действительности многие из приведенных семян сорняков являются трудноотделимыми и при очистке семян в ряде случаев требуется применять сложные и дорогостоящие семенные машины, а в некоторых случаях и выбраковывать большие партии семян.

Существующие методики расчета технологий предпосевной подготовки семян, основываются на многолетних принципах, которые традиционно сложились в семеноводстве. Относительно размерных свойств, то существует правило, что семена по толщине зерновок разделяются на решетках с продолговатыми отверстиями, по ширине – на решетках с круглыми отверстиями, а по длине на триерах.

На этапе проектирования семенных предприятий разработчики основываются на физических свойствах семян, а также сопутствующих примесей, но при этом происходит незаметное дистанцирование от терминологии физических свойств семян и что самое главное происходит потеря физического смысла свойств семян. Синонимами физических свойств семян становятся «технологические свойства», признаки делимости семенных смесей» и «признаки разделения семенных смесей на рабочих органах» (рис. 2).

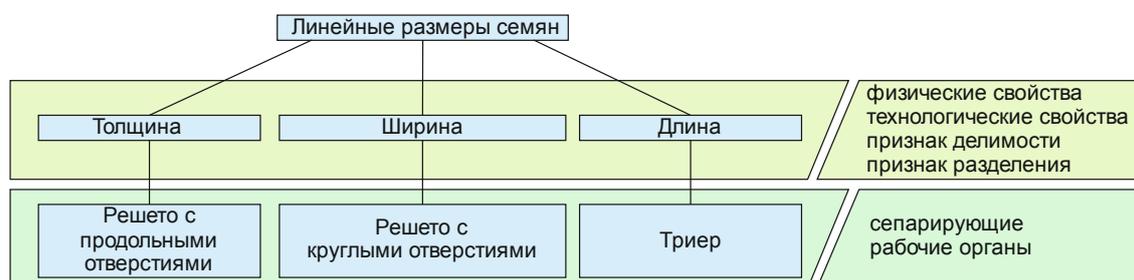


Рис. 2. Линейные размеры семян и рабочие органы сепараторов, разделяющие семена по этим свойствам

Сложившаяся тенденция в терминологии на протяжении последних 50 лет, привела к потере приоритетности исследования физических свойств семян, а вместе с ней, в какой-то степени, к приостановке развития адаптивных технологий подготовки семян для различных почвенно-климатических условий.

В процессе подготовки семян решают две основные задачи: очистка семян от сторонних примесей, и их сортировка по признакам продуктивности. Размерные свойства семян в большинстве случаев являются основными для технологий очистки и сортировки. Следует заметить, что не только большое варьирование размерных свойств семян, но и многообразие их форм существенно сказывается на эффективности сепарирования семян. Например, семена масличных культур существенно разнятся не только по размерам, но и по форме (рис. 3).

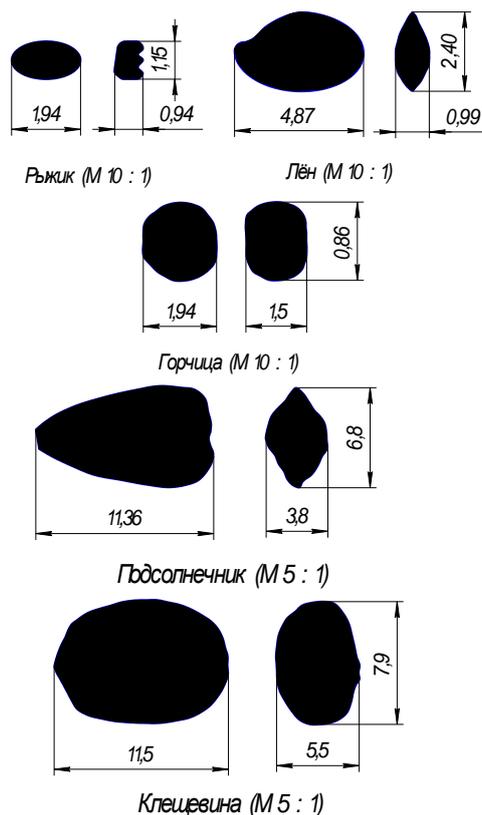


Рис. 3. Форма и средние размеры семян рыжика, льна, горчицы, подсолнечника и клеверины.

Разделение семян на решетках с продолговатыми и круглыми отверстиями наряду с пневматической сепарацией является основной и наиболее распространенной практикой в семеноводстве и зернопроизводстве, а также в мукомольно-элеваторной промышленности. Просеиваемость семян зерновых культур на решетках с продолговатыми отверстиями больше, чем у решет с круглыми отверстиями, так как условием прохождения зерна через круглое отверстие является перпендикулярное положение его длинной оси по отношению к плоскости решета, разделение зерен на решетках с прямоугольными отверстиями происходит по наименьшему размеру – толщине зерна, толщина же является размером зерна, который обычно в наибольшей степени коррелирует с его индивидуальным весом, а следовательно и с продуктивными свойствами семян.

Одной из важнейших статистических характеристик, определяющих целесообразность разделения семян по размерным свойствам и выбор размеров отверстий решет, является их вероятностное распределение. В подавляющем большинстве случаев размерные свойства семян соответствуют нормальному закону распределения. Если представить распределение толщины, ширины и длины зерновок на график с логарифмической шкалой, то распределение размерных свойств будет линейным (рис. 4).

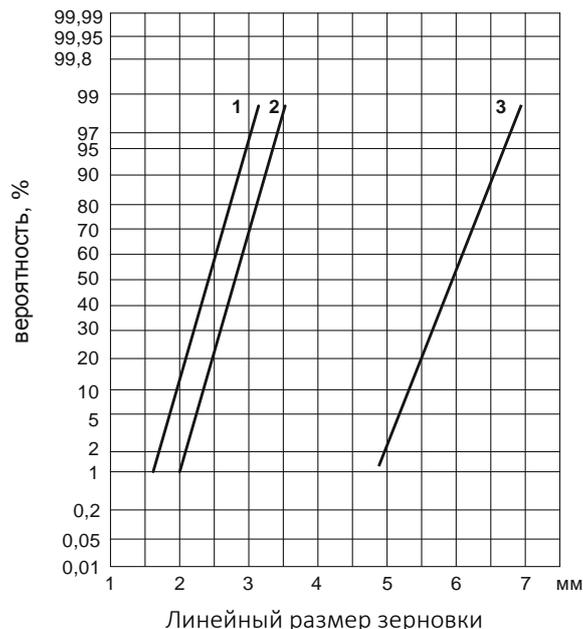


Рис. 4. Распределение линейных размеров семян пшеницы на логарифмической шкале: 1 – толщина; 2 – ширина; 3 – длина.

Поскольку сортирование зерна на решетках с прямоугольными отверстиями происходит по наименьшему размеру, то в соответствии с рис. 4 разделение в одних случаях происходит по толщине зерновок, в других случаях по ширине зерновок, в зависимости от того какой из них наименьший. В связи с чем, при обосновании сепарации семян на решетках с продолговатыми отверстиями, следует принимать во внимание и распределение семян по ширине.

Наряду с размерными свойствами семян при подготовке семян и, особенно при сортировке, используется свойство плотности семян (рис. 4). Наиболее эффективное разделение семян по плотности достигается в жидкостях. Однако после этого процесса требуется дополнительная сушка семян, в связи с чем в практике этот процесс не применяется. Наиболее перспективным направлением повышения эффективности разделения семян по плотности является процесс с псевдооживленным слоем.

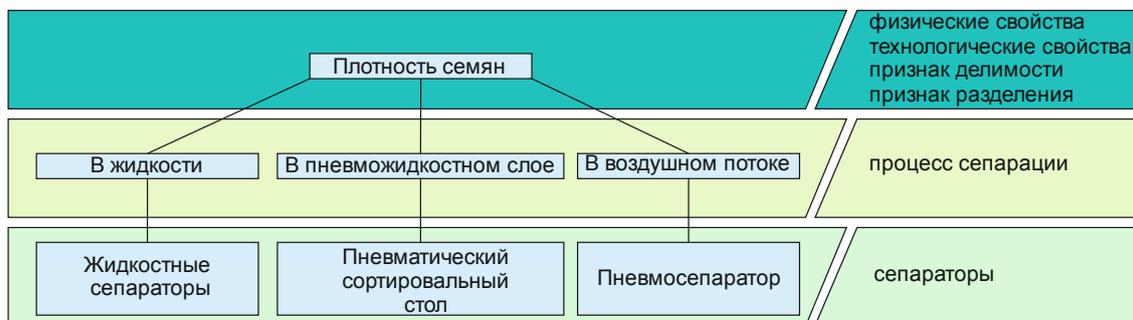


Рис. 5. Плотность семян и сепараторы, разделяющие семенной зерновой материал по плотности

Машинная подготовка семян основана на различиях в физических свойствах семян и их примесей. Чем больше разница в этих свойствах, тем легче выделить посторонние примеси. Если физические свойства выделяемых примесей такие же, как у части семян культурных растений то в этом случае есть три варианта решения:

- часть семян культурных растений, физические свойства которых совпадают с выделяемым компонентом, удаляется в отход, при этом потери семян могут быть значительными;
- поиск других физических свойств семян основной культуры, по которым возможно расхождение в свойствах будет большим с выделяемым компонентом, чем при ранее рассмотренных физических свойствах;
- рассмотрение возможности сепарации по комбинации одного или нескольких физических свойств.

В технологиях подготовки семян, при их перемещении от предварительной очистки до окончательной обработки чистота партии семян повышается, поскольку на каждом этапе выделяются нежелательные примеси. Но при этом, как правило, происходят и потери полноценных семян основной культуры, что приводит к снижению эффективности технологий подготовки семян в целом.

Определить, по каким именно физическим свойствам происходит разделение семян на сепарирующих машинах, часто бывает сложно, а в большинстве случаев и невозможно, так как процесс разделения семенных материалов происходит по комплексным свойствам. Кроме того, относительная важность этих свойств будет меняться в зависимости от типа семян, состава партии семян и рабочих параметров машины.

На протяжении всего процесса подготовки семян требуется принимать множество решений. Поскольку решение об использовании конкретной машины частично зависит от того, какие примеси присутствуют в семенном материале. Более точное знание физических свойств партии семян и примесей дает более надежные рекомендации по выбору машины. Например, предварительная очистка обычно является первоначальным процессом, используемым для уменьшения количества посторонних примесей в неочищенных партиях семян. Однако, некоторые культуры, такие как пшеница и кукуруза, поступают от комбайна относительно чистыми из-за их высокой плотности и правильной формы. Технологии очистки семян таких культур зачастую простые и хорошо зарекомендовали себя в отрасли. В этих случаях этап предварительной очистки можно исключить в пользу других процессов очистки. Тем не менее, в случае других видов семенных культур, таких как травы и цветы, комбайновый семенной материал содержат небольшой процент семян и требуют тщательной очистки.

Проведенный анализ исследований физических свойств семян показал, что дальнейшее развитие технологий подготовки семян на их базисе неэффективно. Для развития технологий нового поколения требуется проведение системных исследований физических свойств семенных материалов в различных почвенно-климатических зонах страны.

В последнее время, в основных зернопроизводящих странах разрабатываются базы данных физических свойств семян. Один из методов сбора данных включает применение компьютерных видеосистем, позволяющие визуальным путем определять физические свойства семян. Этот метод позволяет собирать данные о длине, толщине, ширине и форме зерновок, а также аккумулировать их в базе данных. База данных о физических свойствах семян в конечном итоге будет содержать тысячи записей. По этой причине требуется компактная структура данных.

Повышение продуктивности и качества с.-х. продукции являются важными базовыми компонентами улучшения здоровья, благополучия и уровня жизни людей во всем мире. Одним из наиболее важных факторов, необходимых для повышения продуктивности с.х. является общедоступность значительных улучшений физического, физиологического и генетического качества семян, из которых можно выращивать растения, дающие более высокую урожайность и обеспечивающие безопасность продуктов питания.

Заключение

Одной из наиболее сложных задач в с.-х. производстве является проектирование и разработка технологий подготовки семян. Разработчики семеноводческих предприятий, а также операторы семенных заводов и пунктов по обработке семян опираются на устоявшуюся базу знаний в научных организациях, отрасли семеноводства и в проектных организациях. Эта база знаний и/или данных включает в себя информацию о физических свойствах семян с.-х. культур и их примесей, а также принципы машинной сепарации семян. Компьютерные базы данных используются в качестве хранилища таких знаний.

В настоящее время недостаточно данных, позволяющих спроектировать, а также эффективно эксплуатировать семенные предприятия, обеспечивающих требуемую экономическую эффективность при подготовке семян.

Компьютерные видеосистемы должны быть оснащены соответствующими датчиками, подходящим для оценки исследуемых физических свойств семян, например, линейных размеров для включения в компьютерную базу данных физических свойств семян.

Все измеримые физические свойства семян с.-х. культур, так и их примесей должны быть каталогизированы в форме, пригодной для использования в компьютерной базе данных. Потребуется новые датчики и системы для количествен-

ной оценки неопределяемых в настоящее время физических свойств, таких как плотность, эластичность, состояние поверхности и форма.

В Республике Саха (Якутия) разработка и создание компьютерной базы данных физических свойств семян является приоритетной задачей, решение которой будет неотъемлемым ресурсом устойчивого повышения эффективности не только семеноводства, но и сельского хозяйства в целом.

Литература

1. Бондаренко П.А. Физико-механические свойства семян сорго / Бондаренко П.А., Хвалов А.И., Галайко С.Т. // Селекция, агротехника и экономика производства сорго, Челябинск, 2001, С. 201 – 209.
2. Дринча В.М. Определение коэффициентов восстановления семян / Дринча В.М., Пехальский И.А. // Тракторы и с.-х. машины. – 1997. – №6. С. 31 – 32.
3. Дринча В.М. Направления производства конкурентоспособной техники для очистки зерна и семян / Дринча В.М., Ямпиров С.С. // Техника и оборудование для села. – 1999. – № 3-4. С. 10 – 12.
4. Иваненко А.С. Особенности физических свойств семян у сортов сои в Северном Зауралье / Иваненко А.С., Созонова А.Н. // Зернобобовые культуры, развивающееся направление в России / Ом. гос. аграр. ун-т им. П. А. Столыпина. - Омск, 2018. - С. 68-74.
5. Елисеев С.Л. Влияние агротехнических приемов на лабораторную всхожесть и физические свойства семян овса / Елисеев С.Л., Яркова Н.Н.; Ашихмин Н.В. // Пермский аграрный вестник, 2016; N 2. - С. 23 – 28.
6. Карасенко В.А. Определение физико-механических свойств ячменя при влаготепловой обработке / Карасенко В.А., Пашинский В.А. // Механизация и электрификация сельского хозяйства, 1982, №6, С.51 – 53.
7. Кулаев Е.В. К методике определения размерных характеристик семян сахарной свеклы / Кулаев Е.В., Руденко Н.Е. // Материалы 12-й всемирной конференции по механизации полевых экспериментов / Санкт-Петербург, 2004, М.: ФГНУ Росинформагротех, 2004, С. 383-384.
8. Мусаев Ф.Б. Цифровая морфометрия разнокачественности семян овощных культур / Мусаев Ф.Б.; Прияткин Н.С.; Архипов М.В.; Щукина П.А.; Бухаров А.Ф.; Иванова М.И. // Картофель и овощи, 2018; N 6. - С. 35-37.
9. Панкина И.А. Исследование физических и технологических свойств семян зернобобовых культур / Панкина И.А.; Борисова Л.М.; Белокурова Е.С. // Зерновое хозяйство России, 2015; N 2. - С. 34 – 37.
10. Родимцев С.А. Оценка формы и свойств поверхности семян сельхозкультур / Родимцев С.А., Дринча В.М. // Зерновое хозяйство, 2006, N 8 С. 31–32.
11. Шевченко А.П. Изучение физико-механических свойств семян мелкосеменных культур / Шевченко А.П. // Ретроспектива и современное состояние аграрной науки в северном регионе Омской области. Сб. научных статей, Омск, 2003, С.115–121.
12. Ульрих Н.Н. Научные основы очистки и сортирования семян / Ульрих Н.Н. // Изд-во ВАСХНИЛ, М., Л., 1937 – 188 с.

13. Ульрих Н.Н. Оценка качества семян по физико-механическим свойствам / Ульрих Н.Н. // Вестник с.-х. науки, 1957, N 6 С. 84 – 94.
14. Azadbakht M. Determining some physical properties of Azivash (*Corchorus Olitorious* L.) seed / Azadbakht M.; Pourbagher R.// *Agricultural Engineering International*, 2015; Vol.17,N 3. - P. 384-391.
15. Bakhtiari M.R.; Ahmad D. Design, development and evaluation of a kenaf seed metering system based on its physical and aerodynamic properties / Bakhtiari M.R.; Ahmad D. // *Agricultural Engineering International*, 2017; Vol.19, N 3. - P. 23-31
16. Da Silva F.P.; Siqueira V.C.; Quequeto W.D.; Junqueira M.H.; Goneli A.L.D. Propriedades fisicas dos graos de niger / Da Silva F.P.; Siqueira V.C.; Quequeto W.D.; Junqueira M.H.; Goneli A.L.D. // *Revista Engenharia na Agricultura*, 2018; Vol.26, N 6. - P. 507 – 515.
17. Feyzoliahzadeh M. Effect of irrigation and nutrient on physical properties of safflower seeds / Feyzoliahzadeh M.; Motlagh A. M.; Nikbakht A.M. // *Intern.Agrophysics*, 2014; Vol.28, N 1, P. 7-14.
18. Gregg Bill. Improving seed conditioning / Gregg Bill. // CRC Press Taylor & Francis Group, 2017, P. 463.
19. Gojiya1 DK. Studies on Physical Properties of Peanut Seed / Gojiya1 DK, UD Dobariya, PA Pandya and KM Gojiya // *Acta Scientific Agriculture*, 2020, Vol. 4, N 3, P. 6–8, DOI: 10.31080/ASAG.2020.04.0814
20. Harmond J.E. Physical Properties of Seed / Harmond J.E., Brandenburg N.R., Luisa A. Jensen // *Transactions of the ASAE*, 1965; Vol. 8, N 1, P. 30-32.
21. Kaliniewicz Z. Variability and correlation of selected physical attributes of small-leaved lime (*Tilia cordata* Mill.) seeds / Kaliniewicz Z.; Poznanski A. // *Sylwan*, 2013; Vol.157, N 1, P. 39-46.
22. Khanahmadzadeh A.; Goli H.; Ghamari S. Moisture dependent physical properties of wild safflower (*carthamus oxyacanthus*) seeds / Khanahmadzadeh A.; Goli H.; Ghamari S. // *Agricultural Engineering International*, 2021; T.23, N 3. - P. 201-210
23. Okey Francis Obi. Parboiling duration effects on physical properties of African breadfruit seed / Okey Francis Obi; Michael Emeka Okechukwu // *Agricultural Engineering International*, 2020; T.22, N 2. - P. 186-193.
24. Oloyede C.T. Moisture dependent physical properties of sour-sop (*Annona muricata* L.) seeds / Oloyede C.T.; Akande F.B.; Oniya O.O. // *Agricultural Engineering International*, 2015; Vol.17, N 2. - P. 185-190.
25. Rodrigues G.B. Propriedades fisicas das sementes de sorgo granifero / Rodrigues G.B.; Resende O.; de Oliveira D.E.C.; Sousa K.A. // *Revista Engenharia na Agricultura*, 2019; Vol.27, N 6. - P. 490–497.