

Механизация

УДК 631.35:633.853.52

DOI: <https://doi.org/10.31857/S2500-26272019571-75>

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА УБОРКИ СОИ КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА СЕМЯН

И.М. Присяжная,¹ кандидат технических наук,
М.О. Синеговский,² кандидат экономических наук,
С.П. Присяжная,² доктор технических наук

¹Амурский государственный университет,
675027, Амурская область, Благовещенск, Игнатьевское шоссе, 21
²Всероссийский научно-исследовательский институт сои,
675027, Амурская область, Благовещенск, Игнатьевское шоссе, 19
E-mail: smo@vniiso.ru

Качество семян – важнейший фактор повышения урожайности сельскохозяйственных культур, в том числе и сои. Однако в среднем до 20–25% семян сои, высеваемых в Амурской области, являются некондиционными. При этом одной из основных причин понижения качества семенного материала служит значительное дробление и травмирование их при уборке и обработке. Для уборки сои в Амурской области применяют до 10 различных марок комбайнов, допускающих высокую величину дробления бункерного зерна. Дробление зерна комбайнами различных марок составляет 6,9–15,1%. Комбайны российского и иностранного производства по конструкции преимущественно однокорпусные и собирают вымолоченное зерно сои в один бункер, при этом не разделяют семена по биологической разнородности, присущей для сои. В результате потери урожая этой культуры достигают 2,7–3,3 ц/га. Для снижения потерь зерна от дробления и получения качественных семян разработано новое устройство на основе комбайна двухфазного обмолота с двухпоточной очисткой и двумя бункерами. Изучены режимы работы молотильно-сепарирующего устройства на обмолот, сепарацию и повреждение семян по длине молотилки комбайна с целью выделения и сохранения от дробления части биологически полноценных и качественных семян при комбайновой уборке сои с пониженной влажностью зерна (менее 12%). Исследования по методу полного факторного эксперимента и обработка результатов позволили создать математические модели сепарации и повреждения семян сои, на основе которых построена номограмма по определению сепарации и содержания травмированных семян, получаемых в зоне первого барабана в зависимости от технологических регулировок молотильного аппарата, подачи и влажности зерна.

IMPROVEMENT OF THE SOYBEAN HARVESTING PROCESS AS A WAY TO INCREASE THE QUALITY OF SEEDS

Prisyazhnaya I. M.¹, Sinegovskiy M.O.², Prisyazhnaya S.P.²

¹Amur State University, 675027, Amur region, Blagoveshchensk, Ignat'evskoe shosse, 21
²All-Russian Scientific Research Institute of Soybean,
675027, Amur region, Blagoveshchensk, Ignat'evskoe shosse, 19
E-mail: smo@vniiso.ru

The quality of seeds is the most important factor in increasing the yield of agricultural crops, including soybean. However, on the average, up to 20–25% of soybean seeds, sown in the Amur region, are substandard. At the same time, one of the main reasons for the decline in the quality of seed material is significant crushing and damage of soybean during harvesting and processing. Up to 10 different marks of combines, which allow a high degree of crushing of bunker grain, are used in harvesting soybean in the Amur region. The crushing of grain by combines of different marks varies in the range from 6,9 to 15,1 percent. Combines of Russian and foreign production are mainly single-drum by design and collect the threshed soybean grain in one bunker, while they do not separate seeds according to the biological diversity inherent in soybean. As a result, soybean yield losses reach 2,7–3,3 c/ha. In order to reduce grain losses from the crushing and obtaining high-quality seeds, a new device, based on a two-stage threshing combine with double-flow cleaning and with two bunkers, has been developed. The study of the operating modes of the threshing and separating device for threshing, separation and damage of soybean seeds along the length of the combine thresher was carried out in order to select and preserve the part of the biologically valuable and high-quality soybean seeds from the crushing during combine harvesting of soybean with reduced grain moisture (less than 12%). The conducted research with the use of the complete factorial experiment method and processing the results made it possible to create mathematical models of separation and seed damage, on the basis of which a nomogram was built to determine separation and the content of damaged soybean seeds, which are obtained in the zone of the first drum, depending on the technological adjustments of the threshing apparatus, grain feed and grain moisture.

Ключевые слова: соя, семена, уборка, комбайн, двухфазный обмолот, сепарация

Key words: soybean, seed harvesting, combine, two-stage threshing, separation

В настоящее время Дальний восток РФ – основной производитель товарной сои в России. В 2018 г. площадь посевов этой культуры достигла 1468,9 тыс. га, а валовой сбор зерна превысил 1,7 млн тонн. При этом в стране общий сбор зерна сои составил 4,2 млн тонн при общей потребности в соевых бобах 12 млн тонн. Из требуемого количества зерна 8,3 млн тонн необходимо использовать на кормовые цели, 3,2 млн – на пищевые и 0,5 млн тонн – на семена. Большая часть посевов этой ценной высокобелковой масличной куль-

туры расположена в Амурской области. В последние годы увеличились посевные площади, занятые под соей, с 767 тыс. в 2013 г. до 960 тыс. га в 2018 г. [1–3]. Учитывая эти тенденции, актуальным остается вопрос о получении высококачественных семян сои [4–6].

С целью получения семян высокого качества исследовали режимы работы молотильно-сепарирующего устройства комбайна двухфазного обмолота на сепарацию и повреждение семян по длине молотилки для выявления оптимальной зоны выделения и сбора из

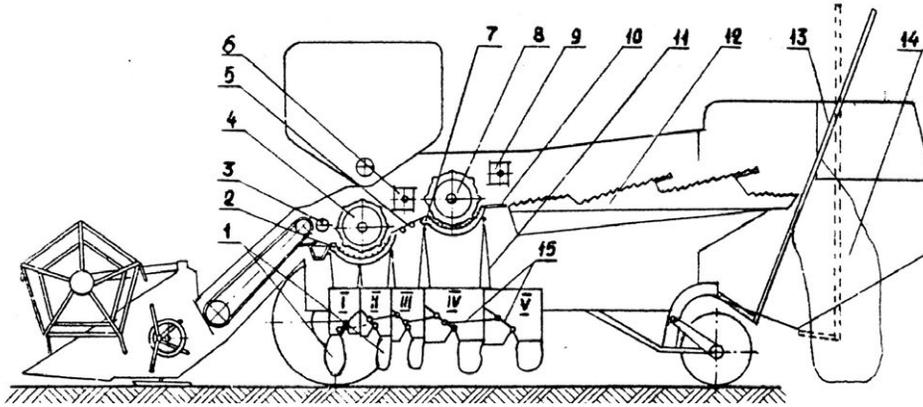


Рис. 1. Схема разделения сепарирующей поверхности молотилки комбайна: 1 – V-сборники зерна по длине молотилки (зоны), 1 – пробоотборники, 2 – подбарабанье первого бильного барабана, 3 – приемный битер, 4 – первый бильный барабан, 5 – промежуточная решетка, 6 – промежуточный битер, 7 – подбарабанье второго бильного барабана, 8 – второй бильный барабан, 9 – отбойный битер, 10 – решетка отбойного битера, 11 – фартуки разделения зон, 12 – соломотряс, 13 – подвижная рамка, 14 – пробоотборник соломы, 15 – параллелограммный механизм.

общей массы биологически полноценных и качественных семян отдельным потоком в бункер непосредственно при уборке [7].

Методика. Исследования проводили на опытном поле ВНИИ сои (Амурская область). Опытный комбайн двухфазного обмолота включал два бильных барабана с подбарабаньями, с которых была снята очистка. Всю молотильную часть комбайна разделили на пять зон. Продукт, поступающий в первую и вторую зоны, объединяли в 1-ю фракцию, 2-ю фракцию составлял выход семян из третьей зоны, 3-ю фракцию – из четвертой зоны (рис 1). Семена из каждой зоны очищали, взвешивали и определяли массу, влажность, качество и другие показатели. Перед началом опыта комбайн устанавливали в 20 м от зачетного участка, включали молотилку в работу и начинали движение. После установления заданных исследуемых параметров проводили опыт. Специальным рычагом, связанным при помощи параллелограммного механизма 15 с рычагами заслонок, перекрывали доступ обмолоченной массы семян в пробоотборники. При подходе комбайна к началу зачетного участка переводили рычаг в рабочее положение, и вымолоченная масса направлялась в пробоотборники, при этом солома из соломотряса 12 собиралась в сборник 14. После прохода 30 м зачетного участка рычаги переводили в нерабочее положение. При проведении опыта сборники заполнялись ворохом на 85-90% от полного объема. Подачу массы в молотилку изменяли за счет поступательной скорости комбайна.

Результаты и обсуждение. Сепарация и повреждение биологически ценных семян при комбайновой уборке сои зависит от многих факторов [8-10], основные из которых – окружная скорость бичей первого барабана, зазоры на входе и выходе между бичами и планками подбарабанья, влажность семян и подача массы в молотилку. Для изучения возможности выделения биологически ценных семян из общего потока массы отдельным потоком необходимо оценить степень влияния каждого фактора на сепарацию и механическое повреждение по длине молотильно-сепарирующего устройства комбайна двухфазного обмолота.

Для решения этой задачи процесс обмолота семян сои в комбайне можно представить в виде ряда математических моделей, где качественные показатели

оценивают в зависимости от нескольких одновременно действующих факторов [11-13]. Основными критериями оценки работы молотилки были количество семян, прошедших через первый барабан (Z_1), промежуточную решетку (Z_2) и второе подбарабанье (Z_3), а также содержание в них травмированных семян (соответственно T_1, T_2, T_3). С этой целью проведены исследования по методу полного факторного эксперимента типа 2^4 [14,15].

Обработка результатов опытов методом математической статистики позволила получить математические модели сепарации и содержания травмированных семян сои по длине молотилки при двухфазном обмолоте в виде следующих уравнений регрессии:

1. Сепарация семян:

$$\begin{aligned} Y_{Z_1} &= 73,52 - 1,288X_1 - 7,613X_2 + 3,55X_3 - 3,913X_4 \\ Y_{Z_2} &= 13,388 + 3,55X_2 - 1,463X_3 + 1,463X_4 - 0,313X_1X_2 - \\ &- 0,35X_1X_4 + 0,775X_2X_3 + 0,675X_2X_4 + 0,538X_1X_2X_3 - \\ &- 0,338X_1X_2X_3X_4 \\ Y_{Z_3} &= 10,45 + 1,025X_1 + 2,538X_2 - 2,725X_3 + 0,588X_4 - \\ &- 0,513X_1X_2 - 0,925X_1X_3 - 0,388X_1X_4 + 0,388X_2X_3 + \\ &+ 0,475X_1X_2X_4 \end{aligned} \quad (1)$$

2. Содержание травмированных семян:

$$\begin{aligned} Y_{T_1} &= 4,506 - 0,231X_1 - 1,181X_2 + 1,669X_3 - 0,844X_4 - \\ &- 0,469X_2X_3 + 0,244X_2X_4 - 0,506X_3X_4 + 0,181X_2X_3X_4 \\ Y_{T_2} &= 12,26 - 3,13X_1 - 1,52X_2 + 5,09X_3 - 1,606X_4 - \\ &- 2,019X_1X_2 - 1,569X_1X_3 - 0,944X_3X_4 \\ Y_{T_3} &= 20,456 - 3,563X_1 - 3,163X_2 + 6,3X_3 - 3,2X_4 + \\ &+ 4,6X_1X_2 - 1,688X_1X_3 - 1,463X_3X_4 - 2,0X_1X_2X_3 - \\ &- 1,35X_1X_2X_4 \end{aligned} \quad (2)$$

По величине свободных членов и коэффициентов переменных факторов в уравнениях (1-2) можно определить не только степень влияния каждого фактора на сепарацию и повреждение семян по длине молотилки при обмолоте сои, но и оптимальную зону выделения

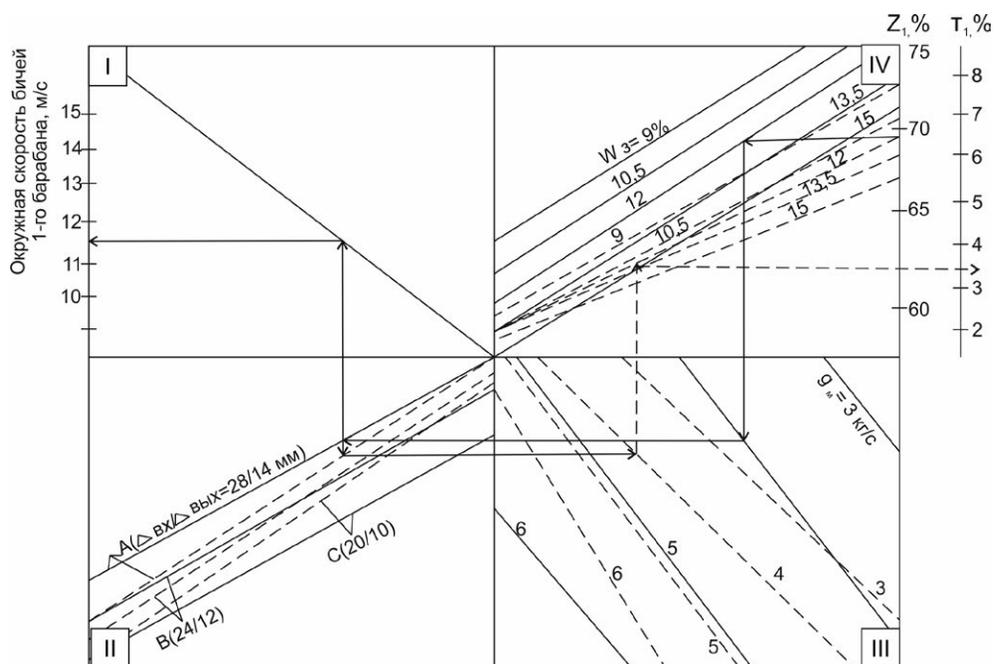


Рис. 2. Номограмма по определению сепарации (Z_1 – сплошные линии) и содержание травмированных семян (T_1 – пунктирные линии) сои в зоне первого барабана в зависимости от технологических регулировок молотильного аппарата, подачи и влажности зерна.

биологически полноценных семян, степень их повреждения, количественного выделения, чистоты, влажности и др.

Анализ полученных уравнений показал, что сепарация семян сквозь первое подбарабанье в наибольшей степени зависит от подачи зерна в молотилку, влажности зерна и окружной скорости бичей барабана. На сепарацию семян в этой зоне меньше влиял молотильный зазор. Степень влияния подачи и влажности зерна на сепарацию семян показывают коэффициенты при X_2 и X_4 в уравнении (1). С увеличением подачи и влажности сепарация семян сои сквозь первое подбарабанье снижается, о чем свидетельствует знак (-) у этих коэффициентов. Однако с увеличением подачи зерна в молотилку и влажности возрастает сепарация семян в зоне промежуточного битера и второго барабана. Об этом свидетельствует знак (+) у коэффициентов при X_2 и X_4 во втором и третьем уравнениях (1). С увеличением окружной скорости бичей повышается сепарация семян в зоне первого барабана – знак (+) у коэффициента при X_3 . Повышение же молотильного зазора снижает выход семян в зоне первого барабана. Анализ уравнения (1) показывает, что для снижения выхода семян в зоне первого барабана необходимо уменьшить частоту вращения барабана, увеличить подачу зерна и молотильный зазор и уборку проводить при повышенной влажности зерна.

Согласно уравнению регрессии (1), на сепарацию семян сои в зоне промежуточного битера в основном влияют подача, окружная скорость бичей барабана и влажность зерна, в то время как молотильный зазор не имел существенного значения. Однако необходимо отметить, что на процесс сепарации семян в промежуточной зоне значительно влияло сочетание этих факторов. При снижении окружной скорости бичей барабана, увеличении подачи и влажности зерна повышалась сепарация семян в зоне промежуточного битера и второго барабана, о чем свидетельствуют соответствующие

знаки у коэффициентов X_2 , X_3 , X_4 и их сочетание (уравнения 1).

Величина свободных членов полученных уравнений (1) показывает, что наиболее интенсивно семена обмолачиваются и сепарируются в начале молотильно-сепарирующего устройства (в зоне первого барабана) – свободный член равен 73,52. По мере продвижения обмолачиваемой массы снижалась интенсивность сепарации семян: величина свободных членов уменьшалась до 13,388 в уравнении регрессии (1) для промежуточной зоны и до 10,45 для зоны второго барабана.

Расчет коэффициентов регрессии, проведенный после опытов, позволил вывести математические модели повреждения семян по длине молотилки при двухфазном обмолаоте сои (уравнение 2). Величина свободных членов этих уравнений показывает, что наименее повреждены семена сои, вымолоченные и просепарированные в начале молотильно-сепарирующего устройства (в зоне первого барабана) – свободный член равен 4,506 (уравнение 2). По мере продвижения обмолачиваемой массы возрастало механическое повреждение семян, о чем свидетельствует повышение величины свободных членов до 12,26 в уравнении (2) для промежуточной зоны и до 20,456 для зоны второго барабана.

На травмирование биологически полноценных семян, прошедших сквозь первое подбарабанье, в основном влияли окружная скорость бичей первого барабана, подача в молотилку и влажность зерна. Причем наиболее опасным положением следует считать вымолачивание зерна малой влажности и его подача в молотилку, а также повышенные окружные скорости бичей первого барабана. На это указывают знак и величина коэффициентов при X_2 , X_3 , X_4 и их сочетании (уравнение 2).

Молотильный зазор незначительно влиял на содержание травмированных семян в зоне первого барабана, так как полученный коэффициент регрессии (b_i) при X_1 близок величине $t\sigma_{T_1}(b_i)$. В основном увеличение

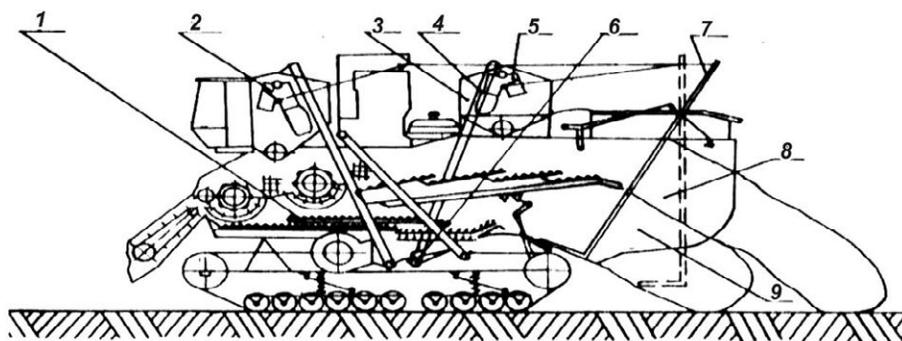


Рис. 3. Схема опытного комбайна; 1 – дополнительная транспортная доска; 2,5 – пробоотборники 1-й и 2-й фракций семян; 3 – бункер 2-й фракции семян; 4,6 – элеватор и шнек семян 2-й фракции; 7 – рамка пробоотборников; 8,9 – пробоотборники соломы и половы.

Показатели работы комбайна двухфазного обмолота с двухпоточной очисткой при уборке сои

Показатель	Опытный комбайн		Серийный
	1-я фракция	2-я фракция	смешанная
Выделение семян из общей массы, %	53,0-57,0	46,94-42,95	99,84
Чистота семян, %	99,6	96,3	98,7
Влажность семян, %	12,5	14,0	13,2
Содержание(%) семян: дробленых недозревших (морозобойных)	2,1 0,3	8,72 1,8	5,92 0,97
Масса 1000 семян, г	165,5	150,3	158, 2

травмирования зерна при двухфазном обмолоте сои происходило за счет высокой окружной скорости бичей первого барабана (знаки и коэффициенты регрессии при X_3 , уравнение 2).

Повышенное содержание травмированных семян в зоне промежуточного битера и второго барабана существенно зависело от молотильных зазоров у первого барабана (X_1) и их сочетания с подачей зерна (X_1, X_2), о чем свидетельствуют относительно высокие значения коэффициентов регрессии этих переменных.

На основании полученных уравнений регрессии (1 и 2) построена номограмма [16] по определению сепарации биологически полноценных семян в зоне первого барабана и содержания в них травмированных семян в зависимости от режимов настройки элементов молотильно-сепарирующего устройства комбайна двухфазного обмолота, подачи и влажности зерна (рис.2). Определив оптимальную зону сепарации биологически полноценных семян на базе комбайна двухфазного обмолота с двухпоточной очисткой, мы переоборудовали комбайн (рис.3) и провели производственную проверку.

В зоне первого молотильного барабана из общей массы вымолачивается и сепарируется 53-57% семян сои и после двухпоточной очистки на первой половине решетчатого стана эти семена очищены на 99,6%. Масса 1000 семян этой фракции на 10,1% выше, чем 2-й фракции после обмолота вторым барабаном и

воздушно-решетной очистки (табл.). В 1-ю фракцию выделяются наиболее вызревшие качественные семена с меньшей на 10,7% влажностью зерна. Содержание невымолоченного зерна в сходе с первого барабана составляет 7,1-17,2%, со второго – 0,43-0,51% при изменении окружной скорости бичей барабанов V_1/V_2 м/с – от 13,2/17,6 до 8,6/17,6 м/с при подаче в молотилку, равной 4,9 кг/с.

Таким образом, экспериментальные исследования многофакторного эксперимента позволили установить аналитические зависимости, учитывающие ранг одновременного влияния основных факторов (окружной скорости бичей первого барабана, его молотильных зазоров, подачи и влажности зерна) на повреждение и выделение биологически полноценных семян при двухфаз-

ном обмолоте сои.

На травмирование биологически полноценных семян, выделенных в зоне первого барабана, в большей степени влияла окружная скорость бичей первого барабана, подача и влажность зерна.

С целью сохранения целостности биологически полноценных семян при комбайновой уборке сои в условиях пониженной влажности зерна (менее 12%) и подаче в молотилку (менее 3 кг/с) окружную скорость бичей первого барабана необходимо снизить до 8,5-9 м/с.

Разработанное устройство комбайна с двухпоточной воздушно-решетной очисткой выделяет отдельным потоком 53-57% биологически полноценных, качественных, с незначительным содержанием (1,2-2,1%) дробленых семян сои. За период уборки 10-12 рабочих дней это обеспечит семенами при урожайности 1,5-1,8 т/га до 1000 га посевных площадей.

Литература

1. Синеговская В.Т. Стратегия развития селекции и семеноводства сои на Дальнем Востоке России // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2016. – №59. – С. 344-350.
2. Синеговская В.Т., АсееваТ.А. Инновационные разработки для решения задач импортозамещения // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2017. – 2. – С. 24-27.

3. Синеговский М.О., Малашинок А.А. Современное состояние и проблемы функционирования ресурсно-сырьевой базы соевого подкомплекса Амурской области // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. – 2018. – №9. – С. 31-35.
4. Оборская Ю.В., Ран О.П. Влияние физико-механических свойств семян различных сортов на степень их травмирования // Современные технологии производства и переработки сельскохозяйственных культур: сб. Благовещенск: ООО «Типография» – 2017. – С. 257-265.
5. Федченко Б.Х., Гонтарь А.С., Шутов Н.С. Травмирование зерна рабочими органами комбайна на уборке сои // Интенсификация соеводства на Дальнем Востоке. Сб. науч. тр. ВАСХНИЛ. Сиб. отд. – Новосибирск, 1985. – С.122-125.
6. Бумбар И.В. Уборка сои: монография. – Благовещенск: Изд-во Дальневосточного ГАУ, 2006. – 240 с.
7. Can combine headers and travel speeds affect the quality of soybean harvesting operations? / Patricia C. de Menezes, Rouverson P. da Silva, Franciele M. Carneiro, Lucas A. da S.Girio, Mailson F. de Oliveira, Murilo A. Voltarelli // Revista brasileira de engenharia Agricola e ambiental. – 2018 – V. 22 (10). – P.732-738.
8. Factors of operation affecting performance of a short axial-flow soybean threshing unit / W. Chansrakoo, S. Chuan-Udom // Engineering journal-Thailand. – 2018. – V. 22 (4) – P. 109-120.
9. Physical and physiological quality of soybean seeds at three speeds of the harvester / Carla S. S. Paixao, Camila P. Chrispin, Rouverson P. da Silva, Lucas A. S. Girio, Murilo A. Voltarelli // Revista brasileira de engenharia Agricola e ambiental. – 2017. – V. 21 (3). – P.214-218.
10. Quality of mechanical soybean harvesting at two travel speeds / Felipe B.F. De Lima, Michel A.F. Da Silva, Rouverson P. Da Silva // Engenharia Agricola. – 2017. – V. 37 (6). – P. 1171-1182.
11. Присяжная И.М. Технологические особенности растений и семян сои / И.М. Присяжная, С.П. Присяжная // Закономерности развития технических и технологических наук: сб. статей международной научно-практической конференции. Уфа: АЭТЕР-НА, 2017. – С. 67-70.
12. Присяжная И.М., Присяжная С.П., Присяжный М.М. Совершенствование процесса обмолота, сепарации и транспортирования для повышения качества семян при комбайновой уборке энергетически эффективной сои: коллективная монография. – Благовещенск: Изд-во АмГУ, 2018. – 216 с.
13. Присяжная И.М., Присяжная С.П., Синеговская В.Т. Математическое моделирование процесса обмолота и сепарации зерна в двухфазном молотильном устройстве комбайна // Достижение науки и техники АПК. – 2018. – Т. 32. – №7. – С. 76-79.
14. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – М.: Наука, 1976. – 280 с.
15. Грачев Ю.Л. Математические методы планирования эксперимента. – М.: Пищевая промышленность, 1979. – 190с.
16. Блох Л.С. Практическая номография // Высшая школа. – М.:1971. – 328с.

Поступила в редакцию 21.02.19
 После доработки 02.05.19
 Принята к публикации 15.05.19