УДК 631.354.2:633.34

CC BY

DOI 10.22314/2073-7599-2022-16-1-69-77

Методика определения потерь зерна за жаткой и молотилкой комбайна при уборке сои

Александр Васильевич Липкань,
старший научный сотрудник,
e-mail: lav-blg@mail.ru;
Алексей Алексеевич Кувшинов,
кандидат технических наук,
научный сотрудник,
e-mail: pzrk_igla1992@mail.ru;
Вячеслав Сергеевич Усанов,
кандидат сельскохозяйственных наук,
старший научный сотрудник,
e-mail: usanov-1989@bk.ru;
Наталья Олеговна Смолянинова,
младший научный сотрудник,
e-mail: maximmnat2009@mail.ru;
Владимир Александрович Сахаров,
старший научный сотрудник,
e-mail: sakharov.v.a@mail.ru

Федеральный научный центр Всероссийский научно-исследовательский институт сои, г. Благовещенск, Амурская область, Российская Федерация

Реферат. Отметили, что в условиях переувлажнения почвы не всегда подходят существующие методики оценки прямых потерь зерна при уборке сои с помощью жаток низкого среза. (*Цель исследования*) Усовершенствовать методику оценки потерь зерна сои при уборке урожая в условиях переувлажнения почвы, с возможностью их разделения в процессе отбора проб за жаткой и молотилкой комбайна. (*Материалы и методы*) В основе методического подхода учитывали: влияние неоднородности посевов; принцип достаточной точности определения потерь независимо от почвенных условий при уборке; доступность, простоту и минимальную трудоемкость метода; возможность дифференциации потерь зерна за жаткой для определения основных их источников. Выделили три основные зоны потерь и рассмотрели характеристики источников их возникновения. Представили схему наложения квадратных металлических рамок с длиной стороны 1 метр на посевах и на убранном участке поля после прохода комбайна. Описали последовательность проведения лабораторно-полевой оценки и формулы определения естественных потерь зерна, потерь за жаткой и их составляющих, потерь сои за молотилкой и суммарных потерь за комбайном. (*Результаты и обсуждение*) Разработали методику оценки потерь зерна сои и апробировали ее в ходе испытаний комбайна *Case IH AF6140* с жаткой *New Holland 740CF-30DD(SF)*. Установили, что данный комбайн соответствует всем нормам потерь зерна сои при скорости 6 километров в час. Выявили, что наибольшую долю составляют потери за жаткой – свободным зерном. Для дополнительного снижения потерь предложили регулировать число оборотов мотовила. (*Выводы*) Разработали методический подход и алгоритм оценки потерь зерна с использованием жестких металлических рамок, который позволяет с высокой достоверностью, оперативностью и с меньшей трудоемкостью учитывать потери и рассчитывать фактические и допустимые (от биологической урожайности) значения по уровню удельных и относительных потерь зерна сои за жаткой и зерноуборочным комбайном в целом.

Ключевые слова: уборка сои, зерноуборочный комбайн, соевая жатка, урожайность, учет потерь зерна, переувлажнение почвы, рамка-пробоотборник.

Для цитирования: Липкань А.В., Кувшинов А.А., Усанов В.С., Смолянинова Н.О., Сахаров В.А. Методика определения потерь зерна за жаткой и молотилкой комбайна при уборке сои // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2022. Т. 16. N1. С. 69-77. DOI 10.22314/2073-7599-2022-16-1-69-77.

Method for Determining Grain Losses Behind the Combine Header and Thresher During Soybean Harvesting

Alexander V. Lipkan',
senior researcher, e-mail: lav-blg@mail.ru;
Alexey A. Kuvshinov,
Ph.D.(Eng.), researcher, e-mail: pzrk_igla1992@mail.ru;
Vyacheslav S. Usanov,
Ph.D.(Eng.), senior researcher,
e-mail: usanov-1989@bk.ru;
Natalya O. Smolyaninova,
junior researcher,
e-mail: maximmnat2009@mail.ru;
Vladimir A. Sakharov,
senior researcher,
e-mail: sakharov.v.a@mail.ru

Federal Research Center "All-Russian Scientific Research Institute of Soybean", Blagoveshchensk, Russian Federation

Abstract. It was noted that in waterlogged soil conditions, the existing methods for assessing field grain losses when harvesting soybeans using low-cut headers are not always suitable. (*Research purpose*) To improve the methodology for assessing soybean losses during harvesting in the waterlogged soil conditions, using the possibility of sampling them separately behind the header and thresher of the combine. (*Materials and methods*) The methodological approach was based on: the impact of crop heterogeneity; the principle of adequate accuracy in loss assessment, regardless of soil conditions during harvesting; accessibility, simplicity and minimal labor intensity of the method; the possibility of differentiating grain losses behind the header to identify their main sources. Three main loss zones were identified and the characteristics of their sources were considered. The authors presented a scheme for applying square metal frames with a 1-meter side length on crops and on a harvested field area after the passage of the combine. The authors described the sequence of laboratory and field assessment and formulae for determining natural grain losses, losses behind the header and their types, soybean losses behind the thresher and total losses behind the combine. (*Results and discussion*) A methodology for soybean loss assessment was developed and tested during the trial of the Case IH AF6140 combine with a New Holland 740CF-30DD(SF) header. It was found out that this combine meets all the norms for soybean grain losses at a combine speed of 6 kilometers per hour. Loose grains were revealed to be the largest share of losses behind the header. To further mitigate losses, it was proposed to control the number of reel revolutions. (*Conclusions*) We have developed a technical approach and an algorithm for grain loss assessment with the use of rigid metal frames, which ensures high reliability, efficiency and lower labor intensity when considering losses and calculating actual and permissible (from biological yield) values for the specific and relative soybean losses behind a header and combine harvester as a whole.

Keywords: soybean harvesting, combine harvester, soybean header, yield, grain losses, soil waterlogging, sampling frame.

For citation: Lipkan' A.V., Kuvshinov A.A., Usanov V.S., Smolyaninova N.O., Sakharov V.A. Metodika opredeleniya poter' zerna za zhatkoy i molotilkoy kombayna pri uborke soi [Method for determining grain losses behind the combine header and thresher during soybean harvesting]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2022. Vol. 16. N1. 69-77 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2022-16-1-69-77.

В основе оценки качества работы зерноуборочных комбайнов, используемых на уборке сои, лежит определение механических (технических) и косвенных потерь зерна. Прямые потери и травмирование урожая могут быть вызваны конструктивными особенностями жатки и молотилки, нарушением режимов их работы и оптимальных регулировок. Настройка зерноуборочных комбайнов и жаток в конкретных условиях уборки сои минимизирует механические потери зерна сои и повышает его качество [1-4].

Необходимость в определении прямых потерь зерна сои из-за морфологических особенностей сорта, связанных в первую очередь с низким расположением бобов на стебле растения, проявляется при испытаниях технологий и техники (жаток низкого среза) на машиноиспытательных станциях, в научно-исследовательских учреждениях, а также в опытных селекционно-семеноводческих центрах, растениеводческих хозяйствах. Совершенствование методов учета и средств дифференцированного определения потерь стало одной из важных задач повышения эффективности уборочного процесса [1].

Параметры потерь за комбайном на уборке сои отличаются от требований ГОСТ 28301-2015 и нормируются относительно биологической урожайности на момент уборки [1]:

- за жаткой несрезанными бобами – не более 1,5%;
- за жаткой свободным зерном, срезанными и опавшими бобами – не более 1,5%;
- за молотилкой – не более 1,5%;
- из-за разгерметизации комбайна – не более 0,5%.

Общие потери урожайности за комбайном при уборке сои не должны превышать 5%.

Потери за молотилкой большей частью оптимизированы по параметрам и режимам молотильно-сепарирующего устройства, в том числе при уборке сои, и укладываются в нормативные 1,5% при рекомендуемых рабочих скоростях. А составляющие потерь за жаткой на уборке сои в зависимости от источников их формирования (от работы режущего аппарата или мотовила) изучены мало.

Рядом авторов предложены устройства для учета потерь зерна за зерноуборочным комбайном с высокой достоверностью, при снижении трудоемкости процесса, с возможностью их поэтапного разделения – за жаткой и молотильно-сепарирующим устройством комбайна [5, 6]. Разработан порядок расчета параметров контрольного участка при определении потерь зерна за жаткой и молотилкой, который учитывает конструктивные и кинематические параметры зерноуборочного комбайна [7]. Известен методический подход учета потерь зерна за комбайнами, сглаживающий влияние условий уборки [8]. Полученные результаты позволяют повысить точность прогноза потерь зерна при уборке зерноуборочными комбайнами и обеспечить эффективность их использования в сельскохозяйственном предприятии. Выявлены ос-

новные локации потерь зерна при раздельной уборке и при прямом комбайнировании: жатвенная (35-65%) и молотильная (65-35%) части комбайна. Анализ технологического процесса работы жатвенной части позволил выявить наиболее перспективные пути уменьшения потерь зерна при первичном машинном воздействии [9]. Представлены результаты моделирования потерь зерна пшеницы при комбайновой уборке на основе разработанной компьютерной модели, которая учитывает различные технологии уборки, варианты нагрузки на зерноуборочный комбайн, урожайность зерна и соотношение зерна и соломы [10]. В результате анализа модели для прогнозирования потерь сои за жаткой проведены эксперименты, показывающие, что общее количество потерь зерна во время уборки с использованием соевой жатки, установленной на гусеничном зерноуборочном комбайне, составляет 5,46% [11]. Известны средства, позволяющие значительно сократить время настройки основных регулировок комбайна и оперативно определить потери зерна за комбайнами во время уборки [12]. Зарубежные ученые ведут работы по оценке качества механической уборки сои с использованием зерноуборочных комбайнов с различными жатками и на разных скоростях движения с помощью статистического контроля процесса уборки [13-17].

Несмотря на продолжающееся совершенствование средств для отбора проб за комбайном и работу по адаптированию методических подходов, остается нерешенным вопрос об адекватной оценке потерь зерна сои и совершенствовании метода отбора проб за жаткой и комбайном при уборке в условиях непосредственного контакта жатки с поверхностью поля, почва которого переувлажнена.

Наиболее предпочтителен показатель общих потерь за комбайном, определяемый посредством рамки из шпагата по всей ширине захвата жатки (ГОСТ 28301-2015). Он учитывает все потери – за жаткой и молотилкой. Если общие потери находятся в пределах нормы, то другие показатели можно не определять.

В реальных условиях избыточного увлажнения почвы в дальневосточном регионе возникают практические трудности при решении задачи по обеспечению полноты сбора потерь [18]. Невозможно достоверно провести учет по всей ширине захвата жатки из-за следов движителя комбайна. Этому препятствует пробуксовка движителей или наличие свободной воды в колее.

Методики с применением пробоотборников, устанавливаемых как до прохода комбайна, так и во время работы в ручном или автоматическом режимах, также практически неприменимы при уборке сои жатками низкого среза, режущий аппарат которых копирует через опорные башмаки рельеф поверхности поля [19]. При движении комбайна опирающиеся на почву по всей ширине жатки опорные башмаки приведут к смещению и деформации пробоотборников, что исключает полноту сбора потерь [20].

В данных методиках по-разному определяется понятие урожайность при оценке массовой доли потерь зерна. Так, в стандартизованной методике по ГОСТ 28301-2015 фактическая урожайность при прямом комбайнировании приравнивается к бункерной по результатам взвешивания бункерного зерна без сорной примеси, но с учетом всех видов потерь зерна за комбайном. Практически она равняется биологической урожайности, вычисляемой по массе зерна, выделенного из снопа. А в методике, рекомендуемой М.Е. Чаплыгиным, массовая доля потерь оценивается по отношению к бункерной урожайности, определяемой без сорной примеси [17].

Таким образом, существующие методики не всегда подходят при уборке сои, осуществляемой с использованием жаток низкого среза и проходящей нередко в условиях переувлажнения почвы, что свойственно регионам Дальнего Востока. Поэтому для оценки потерь зерна необходимо усовершенствовать методику в плане размеров, числа и мест наложения рамок, способа определения урожайности (биологической или бункерной) при оценке массовой доли потерь за жаткой, молотилкой и за комбайном в целом.

Цель исследования – усовершенствовать методику оценки потерь зерна сои, допускаемых зерноуборочными комбайнами в процессе уборки урожая в экстремальных условиях переувлажнения почвы, с возможностью их разделения в ходе отбора проб за жаткой и молотилкой комбайна.

Материалы и методы. Предлагаются следующие исходные методические положения:

- урожайность, как и потери на зачетном участке, необходимо проверять в 3-6 местах – как по ширине захвата жатки, так и по ходу движения комбайна – и усреднять, чтобы учесть влияние на величину потерь неоднородности посевов и, соответственно, подачи зерно-соломистой массы в комбайн;

- исключить влияние неопределенности потерь по следу комбайна на оценку потерь за жаткой и за комбайном в целом, то есть гарантировать достаточную точность независимо от почвенных условий при уборке;

- обеспечить доступность, простоту и минимальную трудоемкость метода;

- выявить возможность дифференциации потерь зерна сои за жаткой для определения основных их источников (режущий аппарат и мотовило) с целью корректировки ее технологических регулировок и рабочей скорости комбайна.

Необходимо отметить важность определения источника потерь за жаткой перед проведением регулировки рабочих органов жатки и молотилки комбайна.

Оценка показателей потерь за комбайном на полосе прохода без учета источников их возникновения (либо по причинам, предшествующим уборке, либо

по техническим недочетам, относящимся к жатке или молотилке) может стать причиной ненужной или неправильной регулировки.

Выделим три основные зоны потерь зерна:

$$\Delta У_{общ} = \Delta У_{о} + \Delta У_{ж} + \Delta У_{м}, \quad (1)$$

где $\Delta У_{общ}$ – общие потери на поле после прохода комбайна, т/га;

$\Delta У_{о}$ – потери перед уборкой урожая (от самоосыпания), т/га;

$\Delta У_{ж}$ – потери за жаткой, т/га;

$\Delta У_{м}$ – потери за молотилкой, т/га.

Характеристики потерь зерна сои в зависимости от источников их возникновения:

- потери перед уборкой урожая вызваны естественным осыпанием бобов и зерен сои из-за ветра и других неблагоприятных факторов. Они зависят от сорта, влажности соломы и зерна, срока уборки. Современный комбайн не может собрать это зерно;

- потери зерна сои за жаткой образуются из-за слишком высокого среза (от несреза), осыпания под действием мотовила (очесанными бобами и свободным зерном), среза части боба сои (срезанными, опавшими бобами);

- потери зерна за молотилкой комбайна могут стать следствием разгерметизации комбайна через неплотности, неправильной регулировки молотилки.

В целом уровень общих технических потерь зерна за зерноуборочным комбайном складывается из потерь за жаткой и молотилкой.

Общие потери сои за комбайном допускаются не более 5%, в то время как для зерновых культур по ГОСТ 28301-2015 они равны 3%. Разница объясняется более мягкими требованиями к работе жаток, так как большинство из них не адаптированы к морфологическим особенностям растений сои и к условиям почвенного переувлажнения. Поэтому актуальны испытания и оценка качества работы жаток низкого среза.

В разработанной методике предусмотрена последовательность проведения лабораторно-полевой оценки при испытаниях жаток и комбайнов:

- предварительно обкатать жатку и отрегулировать рабочие органы;

- настроить измельчитель-разбрасыватель комбайна для укладки соломы и половы в валок;

- для сбора и подсчета потерь за жаткой с 1 м^2 на убранном участке поля применяют жесткие металлические рамки квадратной формы (сторона квадрата 1 м), изготовленные из прутков диаметром 8-10 мм. Их укладывают после прохода комбайна по ширине участка на стерню сои в случайном порядке с обеих сторон комбайна вне ширины колеи, то есть на левой *L* и правой *R* полосах, свободных от соломы и половы, а также на центральной полосе *C* в пределах ширины корпуса молотилки (*рисунок*);

- по ходу движения комбайна рамки укладывают в три ряда, то есть в трехкратной повторности. Длина учетной делянки должна быть не менее 50-60 м;

- при заходе комбайна в посев сои по ходу движения комбайна отрезается слева полоса *U* неубранной сои не менее 3 м шириной вдоль всей длины учетной делянки для определения биологической урожайности и потерь от самоосыпания путем наложения рамки по центру отрезанной в ходе прохода полосы *U* слева и/или справа, напротив рядов положения рамок для определения потерь на убранном участке поля. Допускается определять биологическую урожайность и потери от самоосыпания в ходе эксплуатационно-технологической оценки только справа от рабочего прохода комбайна, размещая жесткую рамку на расстоянии не менее 1 м от края убранного участка в створе (на одной линии) с рядами определения потерь, то есть в трехкратной повторности;

- для агротехнической оценки после прохода учетной делянки комбайн останавливают в полосе поперечного прокоса на расстоянии не менее 10 м после выхода жатки из соевого массива и промолачивают оставшуюся в комбайне массу в течение 30 с, выгружают зерно из бункера, взвешивая его с погрешностью не более 1%;

- после прохода комбайна с поверхности почвы зерно с каждого ряда рамок собирают отдельно за жаткой, дифференцируя сбор потерь зерна за жаткой в мешочки с бирками на потери от несреза, очесанными мотовилом бобами и свободным зерном, срезанными, опавшими бобами, а также за молотилкой.

- потери зерна за молотилкой рассчитывают, сравнивая массу зерна, собранного с суммарной площади рамок при оценке биологической урожайности на корню, с массой аналогично собранного зерна в центральной полосе *C*;

- рамки с отсутствием потерь за жаткой включаются в суммарную площадь рамок;

- потери зерна за жаткой от несреза допускается определять по массе зерна, собранного, в том числе, с площади рамок для оценки потерь за молотилкой комбайна на центральной полосе *C* после того, как площадка в пределах рамки будет освобождена от соломы;

- потери зерна за комбайном, жаткой и молотилкой рассчитывают по нижеприведенным формулам.

1. Определение потерь от самоосыпания

Эти потери зависят от вида культуры, сорта, влажности соломы и зерна, срока уборки.

Согласно стандартной методике, на поле вдоль прокоса опытного участка выделяют 10 площадок, накладывая рамки так, чтобы ряды растений проходили параллельно сторонам рамки (*рисунок*).

Естественные потери определяют внутри рамки на каждой площадке методом сбора осыпавшегося зерна на земле (погрешность ±0,1 г). Дополнительно в пределах площадок измеряют высоту расположения нижнего боба от уровня поверхности почвы (погрешность ±1 см).

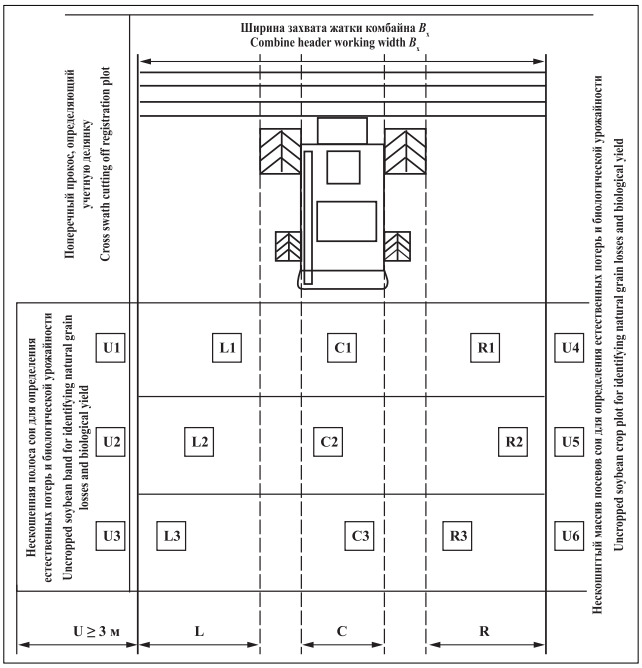

Рис. Схема наложения металлических рамок на посевах сои и на убранном участке поля после прохода комбайна
Fig. The scheme of applying metal frames on soybean crops and on the harvested area of the field after the passage of the combine

Среднее значение удельных естественных потерь зерна сои вычисляют по формуле:

$$q_0 = P_0 / (S_р \cdot n_0) = P_0 / S_0, \quad (2)$$

где q_0 – среднее значение удельных естественных потерь от самоосыпания, г/м^2;

$S_р$ – площадь рамки, равная 1 м^2;

n_0 – количество рамок на полосе U, шт.;

P_0 – суммарная масса потерь зерна сои от самоосыпания, г;

S_0 – суммарная площадь рамок на полосе U для определения биологической урожайности и потерь от самоосыпания, м^2.

Массовая доля потерь зерна сои от самоосыпания равна:

$$\Delta q_0 = \frac{q_0}{У_з \left(У_{пред}\right)^*} \cdot 100, \quad (3)$$

где Δq_0 – массовая доля потерь, %;

$У_з$ – бункерная урожайность зерна с зачетного участка, которую определяют в процессе отбора проб для оценки качества работы жатки, молотилки и в целом комбайна по намолоту зерна с зачетного участка, г/м^2:

$$У_з = \frac{M_з \cdot З_м \cdot 10}{L_{уч} \cdot B_ж}, \quad (4)$$

где $M_з$ – масса зернового вороха сои, собранного в бункер, кг;

$З_м$ – содержание основного зерна сои в бункере комбайна, %;

$L_{уч}$ – длина зачетного участка, м;

$B_ж$ – фактическая ширина захвата жатки, м;

$(У_{пред})^*$ – здесь и далее допускаемый вместо $У_з$ альтернативный вариант определения урожайности как биологической, г/м^2.

2. Определение потерь зерна за жаткой

Участок поля длиной более 50 м комбайны проходят в установившемся режиме работы молотилки при заданной рабочей скорости и отключенном измельчителе-разбрасывателе, укладывая солому и полову в валок, равный ширине молотилки. На убранном участке поля слева и справа от колеи, где нет соломы и половы, и по центру – между следами движителей – накладывают по три рамки. Вручную с поверхности земли в пределах площадки собирают потери, дифференцируя их на составляющие: потери свободным зерном, несрезанными бобами (от «несреза»), срезанными и опавшими бобами. Дополнительно в пределах каждой площадки в случайном порядке определяют высоту среза – не менее 20 значений.

Вычитая из средних значений суммарных потерь и составляющей потерь свободным зерном (6 площадок) среднее значение потерь от самоосыпания (3-6 площадок), получим потери за жаткой всего и составляющую потерь свободным зерном за жаткой в чистом виде, то есть без потерь от самоосыпания.

Потери несрезанными бобами совместно с данными по средней высоте крепления нижнего боба и средней высоте среза характеризуют потери от «несреза», то есть эффективности работы режущего аппарата жаток низкого среза.

Потери свободным зерном и зерном в срезанных и опавших бобах частично свидетельствуют о работе режущего аппарата жатки, а в основном – об эффективности работы мотовила и оптимизации рабочей скорости.

3. Определение потерь за молотилкой и их составляющих

Суммарные потери зерна за молотилкой находят с помощью трех рамок. При необходимости находят составляющие потерь в функциональных узлах – в ветроочистке и соломотрясе, если потери за молотилкой превышают нормативные 1,5%. Рамки укладывают на одной линии с рамками для учета потерь за жаткой (*рисунок*).

4. Определение общих потерь зерна за комбайном

Общие потери важно учитывать, если оценивают комбайн в целом, а не только жатку. Если общие потери не превышают норму, то другие показатели потерь можно не определять.

Согласно стандартной методике после прохождения комбайна по зачетному участку по всей ширине захвата жатки гибкой рамкой отмечается полоса $1/B_ж$ (например, 170 мм для жатки шириной захвата 6 м или 140 мм – для 7-метровой жатки). Необходимо аккуратно освободить этот участок от соломы и половы и собрать зерно:

- утерянное из необмолоченных бобов в соломе и полове;
- свободное;

- в срезанных и опавших бобах на поверхности почвы;

- в несрезанных бобах.

Для более точного определения потерь можно взять полосу 1 м. Полученные с 1 м^2 потери нужно разделить на $B_ж$. Если из этих потерь вычесть потери от самоосыпания, то станут известны общие потери за комбайном. Но, в данном случае, как и при определении стандартными способами других потерь наложением рамок на всю ширину жатки, особенно в условиях повышенной влажности почвы, практически невозможно точно учесть потери по всей ширине жатки, а конкретно – потери по следам движителей комбайна (колес или гусениц), то есть по колее. В том числе исключена дифференциация потерь за жаткой (свободным зерном, срезанными и опавшими бобами, несрезанными бобами), которая важна при оценке эффективности изменения конструктивных параметров и технологических режимов работы жаток низкого среза.

Предлагаемая методика позволяет решать вышеупомянутые задачи в любых почвенных условиях.

Общие потери зерна сои за комбайном составляют:

$$\Delta q_к = \Delta q_ж \ \Delta q_м, \quad (5)$$

где $\Delta q_к$ – общие потери зерна, %;

$\Delta q_ж$ – потери за жаткой комбайна, %;

$\Delta q_м$ – потери за молотилкой комбайна, %;

$$q_{жс} = \frac{\sum q^i_{жс}}{У_з\left(У_{пред}\right)^*} \cdot 100 = \frac{q^н_{жс} + q^{со}_{жс} + q^c_{жс}}{У_з\left(У_{пред}\right)^*} \cdot 100 = \\ = \Delta q^н_{жс} + \Delta q^{со}_{жс} + \Delta q^c_{жс}, \quad (6)$$

где $q_ж^i$ – удельные потери сои за жаткой комбайна, дифференцируемые по i-видам потерь, г/м^2;

$q_ж^н$ – удельные потери сои за жаткой комбайна от несреза, г/м^2:

$$q^н_{жс} = \frac{P^н_{жс}}{S_1 + S_2}, \quad (7)$$

где $P_ж^н$ – суммарная масса потерь зерна сои за жаткой от несреза, г;

S_1 – суммарная площадь рамок на зачетном участке после прохода комбайна с наружной стороны колес в полосах L и R для определения потерь за жаткой, м^2;

S_2 – суммарная площадь рамок в полосе C на валок соломы с половой для определения потерь зерна сои за комбайном и молотилкой, м^2;

$q_ж^{со}$ – удельные потери сои за жаткой комбайна срезанными и опавшими бобами, г/м^2;

$$q^{со}_{жс} = \frac{P^{со}_{жс}}{S_1}, \quad (8)$$

где $P_ж^{со}$ – суммарная масса потерь зерна сои за жаткой срезанными и опавшими бобами, г;

$q_ж^c$ – удельные потери сои за жаткой комбайна свободным зерном без учета потерь от самоосыпания, г/м^2;

$$q^c_{жс} = \frac{P^c_{жс}}{S_1} - \frac{P_0}{S_0} = q^c_{жс}{}' - q_0, \quad (9)$$

где $P_ж^c$ – суммарная масса потерь зерна сои за жаткой свободным зерном, г;

$P_о$ – суммарная масса потерь зерна сои от самоосыпания, собранная в пределах рамок в полосе U, г;

$q_ж^{со}{}'$ – удельные потери зерна сои за жаткой свободным зерном с учетом потерь от самоосыпания, г/м^2.

Потери зерна сои за молотилкой вычисляют по формуле:

$$\Delta q_м = \frac{100 \cdot B_м \cdot \left(\frac{P_м}{S_2} - q_{жс} - q_0\right)}{B_{жс} \cdot У_з\left(У_{пред}\right)^*} = \\ = \frac{100 \cdot B_м \cdot q_м}{B_{жс} \cdot У_з\left(У_{пред}\right)^*}, \quad (10)$$

где $\Delta q_м$ – потери зерна за молотилкой, %;

$q_м$ – удельные потери сои в валке соломы и половы за молотилкой без потерь за жаткой и от самоосыпания, г/м^2;

$B_м$ – ширина участка за комбайном (валок), равная ширине молотилки (барабана), м;

$B_ж$ – фактическая ширина захвата жатки, м;

$P_м$ – суммарная масса потерь зерна сои в валке соломы с половой, собранная в рамках в пределах ширины корпуса молотилки комбайна на полосе C, г.

Результаты и обсуждение. В соответствии с разработанным алгоритмом оценки для примера апробации методики используем результаты испытаний комбайна *Case IH AF6140* с жаткой *New Holland 740CF-30DD(SF)* в хозяйстве «Казанское» Серышевского района Амурской области на уборке сои сорта Нега 2 в 2016 г.

На длине гона по центру левой отрезанной в ходе прохода комбайна полосы U массива посевов сои накладывали рамки в трехкратной повторности (*U1*, *U2* и *U3*), в пределах которых на уровне поверхности почвы срезали растения сои, снопы из которых укладывали в крафтовые мешки с этикеткой для определения биологической урожайности сои в лабораторных условиях при ручном обмолоте бобов или на селекционной молотилке.

Затем в пределах трех рамок собирали потери от самоосыпания в виде свободного зерна и зерна из опавших бобов.

На прокосе (зачетном участке) напротив мест с рамками для определения биологической урожайности на корню и потерь от самоосыпания накладывали рамки в трех повторностях в полосах L, R и C (*рисунок*). В ходе сбора потерь зерна сои за жаткой в пределах рамок их разделяли в отдельные мешочки: несрезанные бобы на стерне; срезанные и опавшие бобы; свободное зерно.

В пределах рамок на полосе C допустимо выделять потери от несреза и учитывать их при расчете удельных потерь за жаткой. Результаты испытаний показали, что в исходном массиве сои сорта Нега 2 суммарная масса потерь зерна сои от самоосыпания составила 0,66 г. Удельные потери зерна сои от само-

осыпания рассчитали по формуле (2):

$$\bar{q}_0 = \frac{0,66}{3,0} = 0,22 \text{ г/м}^2.$$

Биологическая урожайность сои на корню составила $У_{пред} = 251$ г/м^2, высота прикрепления нижнего бобика на растении сои – 14,1 см.

Урожайность зерна с зачетного участка определяли согласно формуле (4):

$$У_з = \frac{376 \cdot 99,82 \cdot 10}{164,5 \cdot 9,19} = 248,3 \text{ г/м}^2.$$

По результатам взвешивания массы составляющих потерь зерна сои за жаткой выявили: $P_ж^н = 2,73$ г, $P_ж^{со} = 4,04$ г, $P_ж^с = 9,28$ г.

Соответствующие удельные потери при $S_1 = S_р \cdot (n_L + n_R) = 1,0 \cdot (3+3) = 6,0$ м^2 и $S_2 = S_р \cdot n_C = 1,0 \cdot 3 = 3,0$ м^2 рассчитали по формулам (7)-(9):

$$q_{ж}^{н} = \frac{2,73}{6,0 + 3,0} = \frac{2,73}{9,0} = 0,30 \text{ г/м}^2;$$

$$q_{ж}^{со} = \frac{4,04}{6.0} = 0,67 \text{ г/м}^2;$$

$$q_{ж}^{с} = \frac{9,28}{6,0} - \frac{0,66}{3,0} = 1,55 - 0,22 = 1,33 \text{ г/м}^2,$$

где n_L, n_R, n_C – количество рамок на полосах L, R и C на зачетном участке после прохода комбайна, шт., $n_L = 3$ шт., $n_R = 3$ шт. и $n_C = 3$ шт.

Суммарные потери за жаткой комбайна в соответствии с формулой (6) равны:

$$q_{ж} = \sum q_{ж}^{i} = q_{ж}^{н} + q_{ж}^{со} + q_{ж}^{с} = 0,30 + 0,67 + 1,33 = 2,30 \text{ г/м}^2.$$

При этом средняя высота среза растений сои составила 8,8 см.

Вычислим долю составляющих и суммарных потерь зерна сои за жаткой по формуле (6). Здесь и далее альтернативный вариант расчета в скобках (…)* с использованием биологической урожайности, обозначенной в знаменателе как (251 г/м^2)*:

$$\Delta q_{ж}^{н} = \frac{0,30 \cdot 100}{248,3\ (251)^*} = 0,12\,(0,12)^*\%,$$

$$\Delta q_{ж}^{со} = \frac{0,67 \cdot 100}{248,3\ (251)^*} = 0,27\,(0,27)^*\%,$$

$$\Delta q_{ж}^{с} = \frac{1,33 \cdot 100}{248,3\ (251)^*} = 0,53\,(0,53)^*\%,$$

$$\Delta q_{ж} = \frac{2,30 \cdot 100}{248,3\,(251)^*} = 0,92\,(0,92)^*\%.$$

Для вычисления массы зерна сои, собранного за молотилкой комбайна в полосе C с трех рамок , взвесим отдельно суммарное зерно, собранное на стерне из несрезанных бобиков. Следует учесть, что под молотилку попадают потери от самоосыпания и потери за жаткой. Так, после прохода комбайна *Case IH AF6140* суммарный вес потерь зерна сои в рамках *C1*, *C2* и *C3* равен $P_м = 19,2$ г.

Определим удельные потери в валке соломы и половы за молотилкой комбайна без потерь за жаткой и потерь от самоосыпания:

$$q_м = \frac{P_м}{S_2} - q_{ж} - q_0 = \frac{19,2}{3,0} - 2,3 - 0,22 = 3,88 \text{ г/м}^2.$$

Потери зерна сои за молотилкой определяем по формуле (10):

$$\Delta q_м = \frac{100 \cdot 1,162 \cdot 3,88}{9,19 \cdot 248,3\,(251)^*} = 0,20\,(0,20)^*\%.$$

Вычисляем общий уровень потерь за комбайном, используя выражение (5):

$$\Delta q_к = \Delta q_{ж} + \Delta q_м = 0,92 + 0,2 = 1,12\%.$$

Как видно из расчетов, работа комбайна *Case IH AF6140* с жаткой *New Holland 740CF-30DD(SF)* на скорости в 6 км/ч соответствует всем нормам потерь зерна сои, а наибольшую долю составляют потери за жаткой свободным зерном. Это указывает на необходимость регулировки числа оборотов мотовила – установкой правильного соотношения окружной скорости планок мотовила жатки и рабочей скорости комбайна.

В расчетах массовой доли потерь зерна показано, что отличие при использовании данных методических подходов в определении потерь не превышает 0,05-0,30% при условии, что суммарные потери за комбайном не более 5%. Тогда выбор предпочтительного метода определения урожайности будет зависеть от того, какой из них обеспечивает большую оперативность и минимальную трудоемкость проведения оценки. Например, при определении качества работы комбайна в ходе эксплуатационно-технологической оценки во время сравнительных испытаний, когда комбайны можно не останавливать, более оперативно и с меньшей трудоемкостью лучше определять массовую долю потерь по отношению к биологической урожайности на корню.

Выводы. Использование предложенной и апробированной методики учета потерь с помощью жестких металлических рамок позволяет с высокой достоверностью и оперативностью, при меньшей трудоемкости проводить расчет фактического, удельного и относительного (относительно биологической урожайности) уровней потерь зерна сои за жаткой и зерноуборочным комбайном, а также их допустимых значений.

Методика рекомендуется к применению при изучении качества работы жаток низкого среза и зерноуборочных комбайнов в ходе агротехнической и эксплуатационно-технологической оценок во время испытаний и в ходе рядовой эксплуатации, в том числе в условиях переувлажнения почвы, а также для установки оптимальных регулировок и режимов работы жатки и молотилки комбайна.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бумбар И.В. Уборка сои: Монография. Благовещенск: ДальГАУ. 2006. 257 с.
2. Жалнин Э.В. Какой комбайн выбрать? // *Сельский механизатор*. 2015. N4. С. 4-6.
3. Жалнин Э.В. Классификация потерь зерна и их оценка // *Сельский механизатор*. 2014. N9. С. 4-6.
4. Панасюк А.Н., Липкань А.В., Бумбар И.В., Лазарев В.И. Испытания жатки соевой унифицированной ЖСУ-700 в условиях Амурской области // *Техника и оборудование для села*. 2016. N10. С. 26-28.
5. Чаплыгин М.Е., Жалнин Э.В. Определение качества работы зерноуборочных комбайнов // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2019. Т. 13. N4. С. 71-76.
6. Федоренко В.Ф., Таркивский В.Е., Трубицын Н.В., Воронин Е.С. Повышение эффективности оценки функциональных характеристик зерноуборочных комбайнов // *Агроинженерия*. 2021. N1(101). С. 15-19.
7. Тронев С.В. Расчет конструктивных параметров измерительных средств определения потерь зерна за зерноуборочным комбайном // *Международный научно-исследовательский журнал*. 2017. N3-4(57). С. 96-102.
8. Ерохин Г.Н., Коновский В.В. Изменение потерь зерна за зерноуборочными комбайнами в процессе эксплуатации // *Наука в центральной России*. 2017. N3(27). С. 10-16.
9. Марченко А.П. Анализ путей снижения потерь зерна в жатвенной части зерноуборочного комбайна // *Научное обозрение*. 2015. N9. С. 14-16.
10. Беренштейн И.Б., Полуэктова Н.Р. Моделирование потерь зерна при комбайновой уборке пшеницы // *Известия сельскохозяйственной науки Тавриды*. 2019. N17(180). С. 86-96.
11. Лонцева И.А., Соболева Н.В. Модель для прогнозирования потерь сои за жаткой // *Дальневосточный аграрный вестник*. 2021. N3(59). С. 93-98.
12. Петухов Д.А., Чаплыгин М.Е. Результаты исследований роторного зерноуборочного комбайна «John Deere S660» в условиях Тамбовской области // *Техника и оборудование для села*. 2013. N11. С. 15-18.
13. Menezes P.C., Rouverson P., Silva R.P., et al. Can combine headers and travel speeds affect the quality of soybean harvesting operations? *Revista brasileira de engenharia Agricola e ambiental*. 2018. Vol. 22(10). 732-738.
14. Cortez J.W., Syrio M.G., Rodrigues S.A. Types of header, operating speed, and geometry of collection frames on the total losses of soybean harvest. *Engenharia Agricola*. 2019. Vol. 39(4). 482-489.
15. Silva R.P., et al. Qualitative losses in the soybean seeds mechanized harvesting [Perdas qualitativas na colheita mecanizada de sementes de soja]. *Semina: Ciencias Agrarias*. 2013. Vol. 34(2). Iss. 477-484.
16. Lima F.B.F., Silva V.A.F., Silva R.P. Quality of mechanical soybean harvesting at two travel speeds. *Engenharia Agricola*. 2017. Vol. 37(6). 1171-1182.
17. Cassia M.T., et al. Monitoring of mechanized harvest operation of soybean seeds. *Engenharia Agricola*. 2015. Vol. 19(12). 1209-1214.
18. Канделя М.В., Земляк В.Л., Назарова В.П. Обоснование необходимости использования гусеничного движителя в схеме зернокормоуборочных комбайнов в условиях Дальнего Востока // *Вестник Приамурского государственного университета им. Шолом-Алейхема*. 2019. N4(37). С. 35-40.
19. Чаплыгин М.Е. Определение качества работы зерноуборочных комбайнов при испытаниях с применением резиновых пробоотборников // *Техника и оборудование для села*. 2016. N11. С. 16-19.
20. Ряднов А. И., Чаплыгин М.Е., Тронев С.В., Давыдова С.А. Современные специализированные жатки и адаптеры для уборки сои // *Известия Нижневартовского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование*. 2020. N4(60). С. 389-402.

REFERENCES

1. Bumbar I.V. Uborka soi. Monografiya [Soybean harvesting. Monograph]. Blagoveshchensk: Dal`GAU. 2006. 257 (In Russian).
2. Zhalnin E.V. Kakoy kombayn vybrat`? [Which harvester to choose?] *Sel`skiy mekhanizator*. 2015. N4. 4-6 (In Russian).
3. Zhalnin E.V. Klassifikatsiya poter` zerna i ikh otsenka [Grain loss classification and evaluation]. *Sel`skiy mekhanizator*. 2014. N9. 4-6 (In Russian).
4. Panasyuk A.N., Lipkan` A.V., Bumbar I.V., Lazarev V.I. Ispytaniya zhatki soevoy unifitsirovannoy ZhSU-700 v usloviyakh Amurskoy oblasti [Tests of ZhSU-700 unified soybean header under conditions of Amur Region]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2016. N10. 26-28 (In Russian).
5. Chaplygin M.E., Zhalnin E.V. Opredelenie kachestva raboty zernouborochnykh kombaynov [Determining the performance quality of combine harvesters operating]. Sel`*skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2019. Vol. 13. N4. 71-76 (In Russian).
6. Fedorenko V.F., Tarkivskiy V.E., Trubitsyn N.V., Voronin E.S. Povyshenie effektivnosti otsenki funktsionalnykh kharakteristik zernouborochnykh kombaynov [Increasing the estimation efficiency of the functional characteristics of grain harvesters]. *Agroinzheneriya*. 2021. N1(101). 15-19 (In Russian).
7. Tronev S.V. Raschet konstruktivnykh parametrov izmeritelnykh sredstv opredeleniya poter` zerna za zernouborochnym kombaynom [Calculation of constructive parameters of measuring facilities for determination of grain losses of grain harvester]. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel`skiy zhurnal*. 2017. N3-4(57). 96-102 (In Russian).
8. Erokhin G.N., Konovskiy V.V. Izmenenie poter` zerna za zernouborochnymi kombaynami v protsesse ekspluatatsii [Change of loss of grain for grain collective combines in the operation process]. *Nauka v tsentralnoy Rossii*. 2017. N3(27). 10-16 (In Russian).
9. Marchenko A.P. Analiz putey snizheniya poter` zerna v zhatvennoy chasti zernouborochnogo kombayna [Analysis of ways of reducing grain loss in reaping part of combine har-

vester]. *Nauchnoe obozrenie*. 2015. N9. 14-16 (In Russian).
10. Berenshteyn I.B., Poluektova N.R. Modelirovanie poter` zerna pri kombaynovoy uborke pshenitsy [Modelling of loss in grain harvesting by combine]. *Izvestiya sel`skokhozyaystvennoy nauki Tavridy*. 2019. N17(180). 86-96 (In Russian).
11. Lontseva I.A., Soboleva N.V. Model` dlya prognozirovaniya poter` soi za zhatkoy [Model for predicting the loss of soybeans behind the header]. *Dal`nevostochnyy agrarnyy vestnik*. 2021. N3(59). 93-98 (In Russian).
12. Petukhov D.A., Chaplygin M.E. Rezultaty issledovaniy rotornogo zernouborochnogo kombayna «John Deere S660» v usloviyakh Tambovskoy oblasti [Research results of the John Deere S660 rotary combine harvester in Tambov Region]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2013. N11. 15-18 (In Russian).
13. Menezes P.C., Rouverson P., Silva R.P., et al. Can combine headers and travel speeds affect the quality of soybean harvesting operations? *Revista brasileira de engenharia Agricola e ambiental*. 2018. Vol. 22(10). 732-738 (In English).
14. Cortez J.W., Syrio M.G., Rodrigues S.A. Types of header, operating speed, and geometry of collection frames on the total losses of soybean harvest. *Engenharia Agricola*. 2019. Vol. 39(4). 482-489 (In English).
15. Silva R.P., et al. Qualitative losses in the soybean seeds mechanized harvesting [Perdas qualitativas na colheita mecanizada de sementes de soja]. *Semina: Ciencias Agrarias*. 2013. Vol. 34(2). 477-484 (In English).
16. Lima F.B.F., Silva V.A.F., Silva R.P. Quality of mechanical soybean harvesting at two travel speeds. *Engenharia Agricola*. 2017. Vol. 37(6). 1171-1182 (In English).
17. Cassia M.T., et al. Monitoring of mechanized harvest operation of soybean seeds. *Engenharia Agricola*. 2015. Vol. 19(12). 1209-1214 (In English).
18. Kandelya M.V., Zemlyak V.L., Nazarova V.P. Obosnovanie neobkhodimosti ispol`zovaniya gusenichnogo dvizhitelya v skheme zernokormouborochnykh kombaynov v usloviyakh Dal`nego Vostoka [Justification of the need to use a caterpillar mover in the scheme of grain harvesters in the Far East]. *Vestnik Priamurskogo gosudarstvennogo universiteta im. Sholom-Aleykhema*. 2019. N4(37). 35-40 (In Russian).
19. Chaplygin M.E. Opredelenie kachestva raboty zernouborochnykh kombaynov pri ispytaniyakh s primeneniem rezinovykh probootbornikov [Determination of work quality of grain harvesters when testing with rubber samplers]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2016. N11. 16-19 (In Russian).
20 Ryadnov A.I., Chaplygin M.E., Tronev S.V., Davydova S.A. Sovremennye spetsializirovannye zhatki i adaptery dlya uborki soi [Modern specialized blades and adapters for soybean harvesting]. *Izvestiya Nizhnevartovskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professionalnoe obrazovanie*. 2020. N4(60). 389-402 (In Russian).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Заявленный вклад соавторов:

Липкань А.В. – научное руководство, формулирование принципов методологического подхода и алгоритма оценки потерь зерна сои за жаткой и комбайном при уборке в условиях переувлажнения почвы, формирование общих выводов.

Кувшинов А.А. – подготовка статьи, обоснование актуальности совершенствования методики оценки потерь зерна сои за комбайном при уборке в условиях переувлажнения почвы (выявление недостатков существующих методик).

Усанов В.С. – дизайн статьи, доработка текста и литературный анализ, критический пересмотр в части релевантности содержания, окончательное одобрение варианта статьи для опубликования.

Смолянинова Н.О. – проведение мониторинга потерь комбайнов по разработанной методике, обработка результатов исследований потерь за жаткой и комбайном.

Сахаров В.А. – разработка дизайна математического аппарата оценки потерь, обоснование оперативности, снижения трудоемкости и обеспечения достоверности определения массовой доли потерь относительно биологической урожайности.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Coauthors' contribution:

Lipkan' A.V. – scientific guidance, developing the principles of the technical approach and the algorithm for assessing soybean grain losses behind the header and combine harvester during harvesting in the waterlogged soil conditions, drawing general conclusions.

Kuvshinov A.A. –manuscript preparation, substantiation of the improvement of the methodology for assessing soybean grain losses behind the combine harvester during harvesting in the waterlogged soil conditions (identifying the shortcomings of the existing methods).

Usanov V.S. – manuscript design and revision, literature review, manuscript critical revision in terms of the content relevance, final approval of the manuscript for publication.

Smolyaninova N.O. – monitoring of the losses behind the combine harvesters according to the developed methodology, processing the results of monitoring the losses behind the header and combine.

Sakharov V.A. – development of the mathematical apparatus for assessing losses, justification of efficiency, labor intensity reduction and ensuring the reliability of determining the mass fraction of losses against the biological yield.

The authors read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию **The paper was submitted to the Editorial Office on** **16.01.2022**
Статья принята к публикации **The paper was accepted for publication on** **18.02.2022**