ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ. АГРОИНЖЕНЕРИЯ

DOI: 10.32786/2071-9485-2020-04-37

MODERN SPECIALIZED BLADES AND ADAPTERS FOR SOYBEAN HARVESTING

A. I. Ryadnov¹, M. E. Chaplygin², S. V. Tronev¹, S. A. Davydova²

¹ Federal State Budget Educational Institution of Higher Education
«Volgograd State Agrarian University, Volgograd, Russia

² Federal State Budget Scientific Institution «Federal Scientific Agroengineering Center
of the All-Russian Institute of Mechanization», Moscow, Russia

Received 06.09.2020

Submitted 25.11.2020

Summary

The article describes the basic agrotechnical requirements for soybean combine harvesting. The current model range of adapters and headers used by agricultural producers for harvesting is analyzed. The design features and purpose of the headers and adapters to be used are studied. The results of experimental studies using dedicated soybean harvesting headers manufactured by Rostselmash in the real economic conditions of the Southern Federal District of the Russian Federation and a theoretical calculation of the optimal length of the header table are presented. Studies of combine harvesters from Rostselmash (Nova 340, Vector, TORUM) having various designs of threshers (single-drum; axial-flow) have shown that RSM-181 TORUM 750+ZhSU-900 and RSM-181 TORUM 740+ZhSU-700 combine harvesters have high productivity per hour of the main period equal to 5.20 and 4.80 ha / h respectively. This can be explained by the presence of a large working width header, a high speed of movement and an axial-flow thresher used on the combine.

Abstract

Introduction. A soybean is one of the key crops of world agriculture. In Russia, over the past ten years, the crop has grown more than 5 times, while its consumption is also growing. This is due to the high yield and high (up to 50%) protein content in the beans. However, high yields of soybeans can be obtained only when it is cultivated using the principles of zonal farming and the availability of specialized equipment designed for harvesting crops with minimal losses. **The purpose** of this work are the basic agrotechnical requirements for soybean combine harvesting and the current model range of adapters and headers used by agricultural producers for harvesting is analyzed. **Materials and methods.** Information materials from world leading agricultural machinery companies published in the periodicals and the regulatory framework were used. In the process of study, methods of comprehensive structural-dynamic analysis, an expert-analytical method of processing information, and other methods of economic theory were used. **Results.** After the studies have been performed, we can conclude that there is a wide range of current dedicated headers and adapters for soybean harvesting. The current dedicated headers and adapters from various manufacturers differ in details: the presence or absence of an electronic terrain relief following system (for example, ClaasAutoContour system); the possibility of folding into a transport position and changes in the level of cut height. Unlike European manufacturers, some American firms optionally offer a conveyor belt as an alternative to the auger (a more even flow of the mowed mass, threshing of soy is facilitated, injury to beans is reduced, the throughput of the threshing system is increased, however, it has a higher cost, more parts are subject to operational wear, and there is a greater required drive power.). **Conclusion.** The results of experimental studies of grain harvesters of LLC «Combine Plant – Rostselmash» (Nova 340, Vector, TORUM) with various design schemes of a threshing-separating apparatus (single-drum; axial-rotary) in real economic conditions of the Southern Federal District of the Russian Federation are presented, and also experimentally confirmed the feasibility of increasing the diameter of the screw.

Key words: soybeans, harvesting, combine harvesters, current dedicated headers,

adapters.

Citation. Ryadnov A. I., Chaplygin M. E., Tronev S. V., Davydova S. A. Modern specialized blades and adapters for soybean harvesting. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2020. 4(60). 389-402 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2020-04-37.

Author's contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 631.354

СОВРЕМЕННЫЕ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ ЖАТКИ И АДАПТЕРЫ ДЛЯ УБОРКИ СОИ

А. И. Ряднов¹, доктор сельскохозяйственных наук, профессор

М. Е. Чаплыгин², кандидат технических наук

С. В. Тронеv¹, доктор технических наук, доцент

С. А. Давыдова², кандидат технических наук

¹Волгоградский государственный аграрный университет, г. Волгоград

²ФГБНУ Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, г. Москва

Дата поступления в редакцию 06.09.2020

Дата принятия к печати 25.11.2020

Актуальность. Соя – одна из ключевых культур мирового сельского хозяйства. В России за последние десять лет урожай вырос более чем в 5 раз при этом растет и её потребление. Это связано с большой урожайностью и высоким (до 50 %) содержанием белка в бобах. Однако высокие урожаи сои можно получать только при возделывании ее на основе использования принципов зонального земледелия и наличии специализированной техники, предназначенной для уборки культуры с минимальными потерями. **Объект.** Объектом исследований являются агротехнические требования, предъявляемые к комбайновой уборке сои и современный модельный ряд адаптеров и жаток, применяемых сельхозтоваропроизводителями для уборки культуры. **Материалы и методы.** Использовались информационные материалы мировых компаний-лидеров по производству сельскохозяйственной техники, опубликованные в периодической печати, нормативно-правовая база. В процессе исследования использовались методы комплексного структурно-динамического анализа, экспертно-аналитический способ обработки информации и другие методы экономической теории. **Результаты и выводы.** В результате изучения конструктивных особенностей современных жаток и адаптеров выявлен широкий ряд современных специализированных технических средств для уборки сои, которые отличаются в деталях: наличие или отсутствие электронной системы копирования рельефа (например, система AutoContour фирмы Claas); возможность складывания в транспортное положение, изменения уровня; использование опционально в качестве альтернативы шнеку ленточного транспортера. Приведены результаты экспериментальных исследований зерноуборочных комбайнов ООО «КЗ» Ростсельмаш» (Nova 340, Vector, TORUM) с различными конструктивными схемами молотильно-сепарирующего аппарата (однотарабанная; аксиально-роторная) в реальных хозяйственных условиях Южного федерального округа Российской Федерации, а также экспериментально подтверждена целесообразность увеличения диаметра шнека.

Ключевые слова: соя, уборка сои, зерноуборочные комбайны, специализированные жатки, адаптеры.

Цитирование. Ряднов А. И., Чаплыгин М. Е., Тронеv С. В., Давыдова С. А. Современные специализированные жатки и адаптеры для уборки сои *Известия НВ АУК.* 2020. 4(60). 389-402. DOI: 10.32786/2071-9485-2020-04-37.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи озна-

комились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. В мировом земледелии соя занимает четвертое место после таких культур, как пшеница, кукуруза и рис, и первое среди зернобобовых культур. Суммарное содержание белка и жира в семенах достигает 70 %, в зерне сои белка – до 43 %, углеводов – 18-20; масла – до 25 %. Причем белок сои по составу и количественному содержанию незаменимых аминокислот относится к полноценным белкам и по биологической ценности приближается к белкам мяса [9]. Высокие урожаи сои можно получать только при возделывании ее на основе использования принципов зонального земледелия: оптимально решены вопросы подбора сортов, места в севообороте; разработана сортовая агротехника, система удобрений в сочетании с комплексом мероприятий по борьбе с вредителями, болезнями и сорняками; при наличии специализированной техники предназначенной для уборки культуры с минимальными потерями.

Уборка сои в производственных посевах начинается в фазе полной спелости, влажность зерен должна составлять не менее 14-16 %, т.к. при меньшей (11–12 %) бобы становятся хрупкими, легко дробятся (увеличение потерь зерна), в их оболочке образуются трещины (снижение всхожести), через которые внутрь проникают возбудители заболеваний; при повышенной влажности (более 20 %) семена деформируются, зародыш повреждается. В зависимости от влажности зерна частота вращения молотильного барабана устанавливается в пределах 450–800 об/мин. При созревании соя сбрасывает листья и, как правило, не полегает, поэтому уборку проводят прямым комбайнированием в фазе полной спелости зерноуборочными комбайнами с переоборудованными на низкий срез (6-8 см) жатками или специальными адаптерами, навешиваемыми на зерновую жатку. Поскольку уборка зачастую усложняется наличием на поле неровностей и камней, комбайновая уборка сои должна иметь надежную систему копирования рельефа поля. Оптимальной рабочей скоростью уборочного агрегата является 3–4 км/ч, на участках с выровненным микрорельефом – до 5 км/ч. Использование на уборке культуры комбайна, не оснащенного специальным адаптером или жаткой, приводит к потери примерно 10-15 % урожая, при этом, согласно ГОСТ 17109-88 «Соя. Требования при заготовках и поставках», потери зерна не должны превышать 2-3 %, дробление зерна – не более 3 %, наличие сорных примесей и почвы в семенах – не более 4-5 %. Чтобы избежать потерь при уборке сои, сельхозтоваропроизводители должны иметь новые технологии и технику, адаптированные под данную пластичную культуру [1-4].

В данной статье проведен анализ современных специализированных адаптеров и жаток, применяемых при уборке сои, и выполнен теоретический расчет оптимальной длины стола жатки.

Материалы и методы. Основой исследования послужили информационные материалы мировых компаний-лидеров по производству сельскохозяйственной техники, опубликованные в периодической печати, нормативно-правовая база. В процессе исследования использовались методы комплексного структурно-динамического анализа, экспертно-аналитический способ обработки информации. Экспериментальные исследования проводились в соответствии с ГОСТ 20915-2011 «Испытания сельскохозяйственной техники. Методы определения условий испытаний».

Результаты. Проведенные исследования показали, что для уборки сои существует большое количество современных жаток и специализированных адаптеров, которые отлично приспособлены для низкого среза культуры с минимальными потерями.

Обсуждение. При уборке сои возникают следующие виды потерь урожая: высыпание зерен из бобов, разрезанных режущим аппаратом жатки; бобы сои, оставшиеся ниже уровня среза; на стеблях, срезанных, но не попавших в комбайн, а также на polegших стеблях [10]. Для решения данной проблемы необходимо использование жаток с гибким режущим аппаратом. В наименованиях их моделей у зарубежных производителей можно встретить слово Flex, т. е. «гибкий». Отечественные сельхозтоваропроизводители чаще называют их «соевыми» жатками, или «универсальными с возможностью обеспечить низкий срез убираемой культуры». Например, для уборки сои, зерновых колосовых, зернобобовых, крупяных культур прямым комбайнированием, на равнинных полях предназначены жатки: отечественная жатка от ООО «КЗ» Ростсельмаш ЖСУ «Float Stream» (рисунок 1а) с шириной захвата 6,0–9,0 м в агрегате с самоходным зерноуборочным комбайном (Vector, Acros, Torum); TerraFlex 3020 (рисунок 1б) с шириной захвата 6,7–11,2 м с самоходным зерноуборочным комбайном Case IH; Maxflex (рисунок 1в) с шириной захвата 7,5–10,5 м с самоходным зерноуборочным комбайном Claas; SuperFlex (рисунок 1г) с шириной захвата 6,7–11,2 м предназначена с самоходным зерноуборочным комбайном New Holland; 600F HydraFlex (рисунок 1д) с шириной захвата 6,0–10,7 м с самоходным зерноуборочным комбайном John Deere. Диапазон изгиба плавающего ножа у ЖСУ «Float Stream» составляет 10 см, TerraFlex 3020 – 11,5; Maxflex – 18,0; SuperFlex – 11,0; 600F HydraFlex – 15,0 см. Регулировка высоты среза у данных жаток производится в пределах от 3 до 14 см над поверхностью почвы, у жаток SuperFlex и 600F HydraFlex максимальная высота среза 38 см. Жатки состоят из рамы с каркасом, мотовила, режущего аппарата, шнека, делителей (правого и левого), гидросистемы привода рабочих органов и электрооборудования управления функциями жатки. Для уборки зерновых колосовых, зернобобовых, крупяных культур на равнинных полях с уклоном не более 8° компания John Greaves производит жатки для уборки сои (рисунок 1е) с шириной захвата 7,5–9,0 м. Жатка имеет возможность агрегатироваться с любой маркой зерноуборочного комбайна. Диапазон изгиба плавающего ножа составляет 11,0 см, высота среза – от 3 до 20 см. Из кабины комбайна с помощью гидравлики производится регулировка положения мотовила в вертикальном и горизонтальном положениях. Регулировка оборотов мотовила производится гидромотором или вариатором (в зависимости от модели комбайна).

Рисунок 1 – Современные жатки для уборки сои: а – ЖСУ «Float Stream» (ООО «КЗ» Ростсельмаш); б – TerraFlex 3020 (Case IH); в – Maxflex (Claas); г – SuperFlex (New Holland); д – 600F HydraFlex (John Deere); е – жатка для уборки сои (John

Greaves)

Figure 1 – Current soybean headers: a – ZhSU Float Stream (Rostselmash); b – TerraFlex 3020 (Case IH); c – Maxflex (Claas); d – SuperFlex (New Holland); e – 600F HydraFlex (John Deere); f – soybean harvester (John Greaves)

Конструктивно-технологический анализ показал, что все соевые жатки имеют одну общую конструктивную особенность: жатка в рабочем положении практически лежит на земле, поддерживаемая лишь расположенными по всей ширине захвата копирующими башмаками в нижней части режущего аппарата. При попадании одного из башмаков на неровность (земля, камни) начинается подъем вверх той части гибкого режущего аппарата, которая находится над башмаком. При наличии углубления башмак опускает часть режущего аппарата вниз. В зависимости от производителя и модели жатки режущий аппарат способен отклоняться на высоту до 30 см в обоих направлениях, степень гибкости зависит от степени преднатяжения режущего аппарата. Таким образом, современные соевые жатки способны срезать стеблестой на высоте всего 2,5 см от поверхности поля по всей ширине захвата и огибая все неровности микрорельефа, что приводит к снижению потерь бобов сои. Отличительными особенностями «гибких» жаток являются важность значения их собственной массы (чем легче жатка, тем более чувствительны копирующие башмаки и тем лучше копируется микрорельеф поля); возможность использования при уборке традиционных культур (режущий механизм соевой жатки фиксируется вручную или из кабины комбайна с помощью гидравлики, после чего жатка работает как обычная с жесткой конструкцией режущего аппарата).

Для уборки сои с минимальными потерями также распространены в использовании специализированные адаптеры, монтируемые на зерновые жатки. Известен адаптер «Soja-Flex» фирмы Biso Schratteneker (рисунок 2а), который предназначен для уборки сои, гороха, зернобобовых, крупяных культур путем переоборудования зерновых жаток зарубежных производителей комбайнов Claas, New Holland, John Deere. ООО «МЗ» «Санфлоромаш» производит адаптер ПСМ «Ettaro», который предназначен для уборки сои, гороха, зернобобовых, крупяных культур путем переоборудования любых зерновых жаток российских и зарубежных производителей комбайнов. Диапазон изгиба плавающего ножа составляет 10 см, регулировка высоты среза производится от 2 см над поверхностью почвы.

Рисунок 2 – Современные адаптеры для уборки сои: а – «Soja-Flex» (Biso Schratteneker); б – ПСМ «Ettaro» (ООО «МЗ» «Санфлоромаш»)

Figure 2 – Current adapters for soybean harvesting: a – Soja-Flex (Biso Schratteneker); b – RSM Ettaro (Sanfloromash)

Проведенные исследования показали, что современные жатки и специализированные адаптеры различных производителей отличаются в деталях: наличие или отсутствие электронной системы копирования рельефа (например, система AutoContour фирмы Claas); возможность складывания в транспортное положение, изменения уровня высоты среза; замена шнека ленточным транспортером, который способствует более

равномерному потоку скошенной массы; облегчает обмолот сои; уменьшает травмирование бобов; увеличивает пропускную способность системы обмолота; но при этом имеет более высокую стоимость; большее количество подверженных эксплуатационному износу деталей; большую потребность в мощности привода.

Режущий аппарат, применяемый на всех рассматриваемых жатках и специальных адаптерах, предназначенных для уборки сои (рисунок 3) сегментно-пальцевого типа, представляет собой гибкий брус, к которому при помощи болтокрепежа крепятся штампованные пальцы, нож, пластины трения и камнеотбойники. На корпусе жатки режущий аппарат устанавливается с помощью шарнирных подпружиненных рычагов. В качестве пружины служат гибкие щитки днища, изготовленные из пружинной стали. Кроме того, на левой боковине жатки имеются две пружины для вывешивания редуктора привода ножа.

Рисунок 3 – Режущий аппарат: а – брус в сборе; б – стандартные заводские камнеотбойники (1, 2 – камнеотбойник; 3 – брус; 4 – сегмент режущий; 5 – палец крайний; 6 – палец прижимной; 7 – камнеотбойник; 8 – болтокрепеж; 9 – пластина трения; 10 – палец крайний; 11 – головка ножа)

Figure 4 – Cutterbar: a – bar assembly; b – standard factory-made stone guards (1, 2 – stone guard; 3 – bar; 4 – cutting segment; 5 – outer pin; 6 – holding pin; 7 – stone guard; 8 – fixing bolts; 9 – friction plate; 10 – outer pin; 11 – blade head)

По данным российской аналитической компании «АСМ-холдинг», наибольшее распространение на российском рынке получили жатки ЖСУ 500, ЖСУ 700, ЖСУ-700 ЕГР АО «Клевер», которая выпускает свыше 100 модификаций прицепной и навесной техники под всемирно известным брендом «Ростсельмаш». Для анализа эксплуатационно-технологических показателей зерноуборочных комбайнов с жатками ООО «КЗ» Ростсельмаш и выявления потерь урожая на уборке сои были проведены экспериментальные исследования в соответствии с ГОСТ 20915-2011 «Испытания сельскохозяйственной техники. Методы определения условий испытаний» в реальных хозяйственных условиях агропредприятий находящихся в зоне Южного федерального округа. Условия проведения уборки посевов сои сорта «Вилана» представлены в таблице 1 и соответствовали нормативным агротехническим показателям для данной зоны.

Таблица 1 – Основные показатели условий проведения испытаний по уборке сои комбайнами

Table 1 – Key indicators of testing conditions for soybean harvesting using combines

Наименование показателя / Indicator	Единица измерения / Unit	Средние значения показателя / Average indicator value
Спелость / Ripeness	%	100
Урожайность / Crop yield	ц/га / Hundredweight / ha	22,8
Полеглость / Down crop rating	%	10,2

Засоренность сорняками / Weediness	%	2,15
Густота растений / Plant density	тыс. шт./га / '000 pcs. / ha	346
Высота растения / Plant height	см / cm	110
Диаметр стебля / Stalk diameter	мм / mm	8,3
Высота расположения нижнего боба / Lower bean height	см / cm	20,8
Отношение массы зерна к массе незерновой части / Ratio of grain weight to tailings weight	-	1:2,3
Влажность / Moisture content	%	12,0
-зерна / grain		32,4
-незерновой части / tailings	%	1,3
Потери зерна от самоосыпания / Loss of grain from self-shedding	%	1,3
Ширина междурядья / Row spacing	см / cm	70
Уклон поля / Field slope	°	0
Влажность почвы в слое от 0 до 10 см / Soil moisture in a layer from 0 to 10 cm	%	9,0
Твердость почвы в слое от 0 до 10 см / Hardness of soil in a layer from 0 to 10 cm	МПа / MPa	1,7

Исследования проводились на зерноуборочных комбайнах с широким диапазоном мощности двигателей от 180 л.с. до 425 л.с. и различной конструктивной схемой молотильно-сепарирующего аппарата: однобарабанная и аксиально-роторная схема молотильно-сепарирующего устройства (далее – МСУ). Эксплуатационно-технологические показатели работы комбанов представлены в таблице 2.

В сложившихся условиях работы, скорость движения зерноуборочных комбайнов на уборке сои находилась в пределах от 4,0 до 6,9 км/ч, что обусловило их производительность в час сменного времени от 1,52 до 4,20 га с удельным расходом топлива при прямом комбайнировании сои от 8,3 до 12,9 кг/га. Коэффициент надежности технологического процесса при уборке сои по всем комбайнам составлял 1,0. Все исследуемые комбайны были оборудованы специализированными жатками, предназначенными для уборки сои и обеспечивающими низкий срез убираемых растений. Высокую производительность за час основного времени имели комбайновые агрегаты РСМ-181 «TORUM 750» + ЖСУ-900 и РСМ-181 «TORUM 740» + ЖСУ-700 – 5,20 и 4,80 га/ч соответственно.

Таблица 2 – Экспериментальные эксплуатационно-технологические показатели работы зерноуборочных комбайнов на уборке сои

Table 3 – Experimental performance of the soybean combine harvesters

Наименование показателя / Parameter	Nova 340 + Float Stream 500	PCM-101 «Vector 420» + ЖСУ-600	PCM-142 «ACROS 580» + ЖСУ-700	PCM-181 «TORUM 740» + ЖСУ-700	PCM-181 «TORUM 750» + ЖСУ-900
Мощность двигателя, л.с. / Engine power [hp]	180	220	300	425	425
Ширина захвата, м / Working width [m]	5,0	6,0	7,0	7,0	9,0
Фактическая высота среза, мм / Actual cut height [mm]	56	60	60	58	57,2
Скорость движения, км/ч / Motion speed [km / h]	4,0	4,8	5,8	6,9	6,2
Производительность, га/ч: / Throughput [ha / h]:					

- основного времени / - main period	2,00	2,80	4,06	4,80	5,20
- сменного времени / - shift period	1,52	2,21	2,96	3,76	4,20
Удельный расход топлива, кг/га / Specific fuel consumption [kg / ha]	8,3	9,8	11,3	12,3	12,9
Показатели качества выполнения технологического процесса / Performance quality parameters					
Суммарные потери зерна, % / Total grain loss [%]					
в том числе: / including:	2,37	2,52	2,90	1,42	1,84
- за молотилкой /	1,75	1,32	1,97	0,96	1,12
- downstream the thresher					
- за жаткой /	0,62	1,20	0,93	0,46	0,72
- downstream the header					
Качество бункерного зерна, %: / Hopper grain quality [%]:					
- дробленое зерно / - cracked grain	1,41	2,32	2,65	0,80	0,96
- сорная примесь / - impurities	1,72	2,60	1,68	1,56	1,20

Это можно объяснить наличием широкозахватной жатки, высокой скоростью движения и примененной на комбайне аксиально-роторной схемой молотильно-сепарирующего устройства [6, 8, 11, 12]. Однако в процессе проведенных исследований было установлено, что при уборке длинностебельной сои существенное значение имеет длина стола жатки, от которой зависит надежность работы шнека жатки, равномерность подачи массы в молотилку комбайна [5, 7]. В серийной жатке срезанные стебли сои одним концом опираются на режущий аппарат, а другим – на цилиндр шнека. Из этого положения винтовая лента сразу не может захватить стебель, чтобы направить его под шнек к днищу каркаса жатки для его дальнейшего транспортирования. При подаче мотовилом последующих слоев масса сои скапливается на столе жатки в виде неравномерной порции и поступает в молотилку неравномерно с нарушением технологического процесса обмолота, что снижает производительность комбайнового агрегата. Основная причина снижения производительности и качества работы зерноуборочных комбайнов – недостаточная приспособленность рабочих органов жатки к условиям уборки длинностебельных стелющихся культур, к которым относится соя. Одним из таких органов является шнек и прежде всего его эксцентриковый пальчиковый механизм, существенный недостаток которого заключается в том, что срезанная масса (где попадают недозревшие стебли, имеющие повышенную влажность) защемляется пальцами в зоне передачи на наклонный транспортер. В результате происходит затягивание части стеблей на верхнюю часть цилиндра. При транспортировании сухой массы, когда жесткость стеблей достаточно высокая, коэффициент трения низкий, а сама масса обладает небольшой связностью, указанный недостаток не приводит к нарушению технологического процесса. При поступлении под шнек срезанной влажной массы с пониженной жесткостью стеблей (недозревшие и полеглые растения) и повышенной связностью вынос стеблей и отдельных порций массы пальцами вызывает ее наматывание на цилиндр центральной части шнека. Чтобы исключить защемление стеблей пальцами в зоне передачи массы на наклонный транспортер, они должны быть наклонены к поверхности цилиндра под определенными углами, обеспечивающими свободный их выход из массы. Однако эксцентриковый механизм серийного шнека не может обеспечить движения пальцев под такими углами. В то же время исключить затягивание массы при определенных условиях можно путем своевременного утопания пальцев в направляющих глазках. Для определения параметров пальчикового механизма, обеспечивающего сброс срезанной массы с цилиндра шнека, рассмотрим движение пучка стеблей сои после того как палец, утопая в глазке, освободит пучок (рисунок 4), при это стебли срезанного пучка считаем не-

растяжимыми нитями, т.е. их жёсткостью пренебрегаем, т.к. именно в данном случае создаются наиболее вероятные условия для наматывания стеблей на поверхность шнека.

Рисунок 4 – Схема взаимодействия срезанного пучка стеблей с поверхностью цилиндра шнека жатки

Figure 4 – Diagram of interaction of a cut bundle of stems with the surface of the header screw cylinder

При рассмотрении случая, когда пучок массы после освобождения движется, не отрываясь от цилиндра шнека, возможно выделить небольшую его часть массой m_{π} , заменив действие на нее остальной (отброшенной) части силой $\bar{T}$, направленной вдоль стеблей. На пучок также действуют силы тяжести пучка $\bar{G} = m\bar{g}$, прилипания стеблей к цилиндру N_0 , сопротивления воздушному перемещению пучка $\bar{R}$ и трения $\bar{F}_{\text{тр}}$. Заменив действие цилиндра на пучок массы реакцией $\bar{N}$, получим уравнение движения пучка в проекциях на естественные оси координат:

$$\begin{aligned} m_{\pi} \frac{V_a^2}{r} &= N_0 - N - mg \cos \varphi + R_n; \\ m_{\pi} \frac{dV_a}{dt} &= F_{\text{тр}} - T - R_{\tau} - mg \sin \varphi, \end{aligned} \quad (1)$$

где V_a – абсолютная поступательная скорость срезанного пучка; r – радиус цилиндра шнека; φ – угол, характеризующий положение пучка на цилиндре; R_n и R_{τ} – нормальная и касательная составляющие силы сопротивления воздуха.

Возможны три случая движения срезанного пучка стеблей после освобождения его пальцем:

1) движется вместе с цилиндром (находится в относительном покое), при этом $N < 0$; $F_{\text{тр}} < fN$; $V_a = \omega r = \text{const}$; $\frac{dV_a}{dt} = 0$, где f – коэффициент трения; ω – угловая скорость шнека. Уравнение (1) в данном случае имеет вид: $m_{\pi} \omega^2 r = N_0 - N - mg \cos \varphi + R_n$; $0 = F_{\text{тр}} - T - R_{\tau} - mg \sin \varphi$. Условие относительного покоя пучка:

$$F_{\text{тр}} \omega^2 r + R_{\tau} - f R_n < f N_0 - mg(\sin \varphi + f \cos \varphi) - T; \quad (2)$$

2) скользит по цилиндру в сторону, обратную его вращению (находится в относительном движении). При этом $N > 0$; $F_{\text{тр}} = fN$. Если исключить из равенства (1) N , получим выражение, которое позволяет определить абсолютную, а также относительную скорости движения срезанного пучка по цилиндру:

$$f m \frac{V_a^2}{r} + R_{\tau} - f R_n + f m \frac{dV_a}{dt} f N_0 - mg(\sin \varphi + f \cos \varphi) - T. \quad (3)$$

При приближенных расчетах, когда $T > mg$, членами $f N_0 - mg(\sin \varphi + f \cos \varphi)$ можно пренебречь, упростив таким образом решение дифференциального уравнения (3), которое в частном случае, при $V_a = \omega r = \text{const}$, примет вид, сходный с выражением

(2). Зависимости (2) и (3) отражают условия, когда срезанная масса затягивается цилиндром на верхнюю его часть, вызывая заматывание шнека;

3) отрывается от цилиндра и свободно движется. При этом в момент отрыва пучка: $N = 0$; $V_a = \omega r$; $\varphi = \varphi_0$, где φ_0 – угол, характеризующий начало утопания пальца в цилиндре. Первое из равенств (1) в этом случае запишется:

$$m\omega^2 r = N_0 mg \cos \varphi + R_n. \quad (4)$$

Сила сопротивления воздуха в момент отрыва пучка $R = kF\rho V^2$, где k – коэффициент сопротивления, зависящий от формы тела, состояния его поверхности и режима потока, характеризуемого числом Рейнольдса; F – площадь миделева сечения тела, m^2 ; ρ – плотность воздуха, $кг/м^3$; V – относительная скорость стеблей в воздушном потоке, $м/с$. Площадь миделева сечения для элементарного срезанного пучка длиной l_n (безучета закругления на пальце): $F = l_n b \cos \gamma$, где $l_n = \frac{m_n}{\delta n}$, b – длина и ширина рассматриваемого элементарного пучка; γ – угол между вектором относительной скорости стеблей и нормалью к пучку; m_n – масса элементарного пучка; δ – средняя масса единицы длины стебля; n – количество стеблей в пучке. Тогда $F = m_n \frac{b}{\delta n} \cos \gamma$.

Относительная скорость стеблей в воздушном потоке (рисунок 4):

$$V = \sqrt{V_0^2 + V_1^2 + 2V_0V_1 \cos(\varphi_0 - \beta)} = \sqrt{\omega^2 + r^2 + V_1^2 + 2\omega V_1 \cos(\varphi_0 - \beta)},$$

где V_1 – скорость воздушного потока, создаваемого планками наклонного транспортера; β – угол наклона вектора скорости V_1 к горизонтали.

Нормальная составляющая силы сопротивления воздуха (рис. 4) $R_n = R \cos \gamma$. Подставив в данное выражение значения входящих в него величин, получим:

$$R_n = k \frac{m_n}{\delta n} b p V_1^2 \sin^2(\varphi_0 - \beta). \quad (5)$$

Из уравнения (4) с учетом зависимости (5) находим угловую скорость шнека:

$$\omega = \sqrt{\frac{N_0}{m_n r} - \frac{g}{r} \cos \varphi_0 + \frac{k b p}{\delta n} V_1^2 \sin^2(\varphi_0 - \beta)}.$$

Тогда условие отрыва стеблей от поверхности цилиндра шнека:

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{r} \frac{N_0}{m_n} - g \cos \varphi_0 + \frac{k b p}{\delta n} V_1^2 \sin^2(\varphi_0 - \beta)}. \quad (6)$$

В выражении (6) при условии расположения стеблей в один слой максимальное значение отношения b/n равно среднему диаметру стебля d_{cp} , тогда:

$$\omega \geq \sqrt{\frac{1}{r} \frac{N_0}{m_n} - g \cos \varphi_0 + \frac{k d_{cp} p}{\delta} V_1^2 \sin^2(\varphi_0 - \beta)}. \quad (7)$$

Таким образом, зависимость (7) показывает, что угловая скорость цилиндра шнека жатки, обеспечивающая отрыв стеблей от его поверхности, зависит от радиуса цилиндра, момент утопания пальца в глазках (угла φ_0), скорости и направления воздушного потока, создаваемого планками наклонного транспортера, а также от силы прилипания стеблей, которая определяется в первую очередь влажностью стеблей в срезанной массе. Снизить эту скорость можно путем увеличения диаметра шнека более ранним утопанием пальцев в направляющих глазках шнека, а также уменьшением скорости воздушного потока, обдувающего шнек.

В качестве примера произведем расчет для шнека комбайна РСМ-101 «Vector

420» + ЖСУ-600 при следующих данных: $r=0,18$ м; $\varphi_0=2$ рад; $\beta=0,78$ рад; $k=0,88$; $\rho=1,127$ кг/м³; $g=9,8$ м/с²; $V_1=2$ м/с. Для растений сои влажностью незерновой части 35...45 % в соответствии с проведенными исследованиями: $(d_{cp}/\delta)_{max} = 45$ м²/кг; $N_0=(0,4...1,85)mg$. Тогда с учетом этих данных $\omega \geq 16,2$ рад/с. В то же время увеличение радиуса цилиндра шнека до 0,2 м позволяет снизить минимальную угловую скорость до $\omega = 14,1$, а уменьшение угла φ_0 с 2 до 1,6 рад/с – с 16,2 до 13,9 рад/с.

Для экспериментальной проверки целесообразности увеличения диаметра шнека проведены исследования надежности протекания технологического процесса жаток серийной конструкции с цилиндрами диаметром 360 мм, используемых на уборке зерновых культур и сои с шириной захвата 6 и 7 м, а также специализированных жаток типа ЖСУ-600, оборудованных шнеком увеличенного диаметра 400 мм, шагом витков 610 мм, частотой вращения 15,7 рад/с. Технологическую надежность шнеков оценивали при работе комбайнов на одном и том же участке сои сорта «Вилана» (урожайность 22,8 ц/га, средняя длина растений 110 см, влажность массы 32,4 %, степень полеглости 10,2 %, засоренность 2,15 %, подача 5,5-12,2 кг/с) в течение определенного интервала времени (в утренние часы). При этом фиксировали количество нарушений технологического процесса, в том числе заматываний. Установлено, что шнек, установленный на специализированной жатке и имеющий увеличенный диаметр имеет гораздо более высокую технологическую надежность, чем шнек на серийной зерновой жатке: за 8 ч чистой работы в загоне заматываний не наблюдалось.

Выводы. После проведенных исследований можно сделать вывод, что имеется широкий ряд современных специализированных жаток и адаптеров для уборки сои, при этом технические устройства различных производителей отличаются в деталях: наличие или отсутствие электронной системы копирования рельефа (например, система AutoContour фирмы Claas); возможность складывания в транспортное положение, изменения уровня.

Исследования зерноуборочных комбайнов ООО «КЗ» Ростсельмаш» (Nova 340, Vector, TORUM) с различными конструктивными схемами молотильно-сепарирующего аппарата (однобарабанная; аксиально-роторная) показали, что высокую производительность за час основного времени имели комбайновые агрегаты РСМ-181 «TORUM 750» + ЖСУ-900 и РСМ-181 «TORUM 740» + ЖСУ-700 – 5,20 и 4,80 га/ч соответственно. Предрасположенность центральной части шнека жатки зерноуборочного комбайна к заматыванию, а следовательно, и надежность протекания технологического процесса зависят от частоты его вращения. При уборке сои сорта «Вилана» для шнека комбайна РСМ-101 «Vector 420» + ЖСУ-600: $r=0,18$ м; $\varphi_0=2$ рад; $\beta=0,78$ рад; $k=0,88$; $\rho=1,127$ кг/м³; $g=9,8$ м/с²; $V_1=2$ м/с – $\omega \geq 16,2$ рад/с. В то же время увеличение радиуса цилиндра шнека до 0,2 м позволяет снизить минимальную угловую скорость до $\omega = 14,1$, а уменьшение угла φ_0 с 2 до 1,6 рад/с – с 16,2 до 13,9 рад/с. Таким образом, шнек, установленный на специализированной жатке и имеющий увеличенный диаметр, имеет более высокую технологическую надежность, чем шнек на серийной зерновой жатке.

Библиографический список

1. Бельштина М. Е., Старостин И. А., Загоруйко М. Г. Пути совершенствования технологии уборки и послеуборочной доработки сои // Аграрный научный журнал. 2020. № 8. С. 4-9.
2. Присяжная И. М., Синеговский М. О., Присяжная С. П. Совершенствование процесса уборки сои как способ повышения качества семян // Российская сельскохозяйственная наука. 2019. № 5. С. 71-75.
3. Пути совершенствования технологии уборки зерновых культур и сои / М. В. Канделя, Н. М. Канделя, В. Л. Земляк, И. В. Бумбар // Дальневосточный аграрный вестник. 2019. № 2 (50). С. 98-109.

4. Синеговская В. Т., Асеева Т. А. Инновационные разработки для решения задач импортозамещения // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2017. № 2. С. 24-27.
5. Экономическая оценка жатки соевой унифицированной ЖСУ-700 для зерноуборочных комбайнов ООО "КЗ "РОСТСЕЛЬМАШ" / В. И. Лазарев [и др.] // Дальневосточный аграрный вестник. 2015. № 2 (34). С. 52-56.
6. Can combine headers and travel speeds affect the quality of soybean harvesting operations? / Patricia C. de Menezes, Rouverson P. da Silva [et al.] // Revista brasileira de engenharia Agricola e ambiental. 2018. No. 22 (10). Pp.732-738.
7. 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. V. 39(4). P. 482-489.
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). Pp. 109-120.
9. Nutrient partitioning and stoichiometry in soybean: A synthesis-analysis / S. Tamagno, G. R. Balboa, Y. Assefa [et al.] / Field Crops Res. 2017. V. 200. Pp. 18-27.
10. Qualitative losses in the soybean seeds mechanized harvesting [Perdas qualitativas na colheita mecanizada de sementes de soja] / R. P. Da Silva [et al.]. Semina: Ciencias Agrarias. 2013. No 34(2). Pp. 477-484.
11. Quality of mechanical soybean harvesting at two travel speeds / Felipe B.F. De Lima [et al.] // Engenharia Agricola. 2017. No. 37 (6). P. 1171-1182.
12. Ramteke R., Singh D., Murlidharan P. Selecting soybean (Glycine max) genotypes for insertion height of the lowest pod, the useful trait for combine harvester // Indian Journal of Agricultural Sciences. 2012. V. 82(6). Pp. 511-515.

Conclusions. After the studies have been performed using a method of comprehensive structural-dynamic analysis and expert-analytical method of processing information, we can conclude that there is a wide range of current dedicated headers and adapters for soybean harvesting. The current dedicated headers and adapters from various manufacturers differ in details: the presence or absence of an electronic terrain relief following system (for example, ClaasAutoContour system); the possibility of folding into a transport position and changes in the level of cut height. Studies of combine harvesters from Rostselmash (Nova 340, Vector, TORUM) having various designs of threshers (single-drum; axial-flow) have shown that RSM-181 TORUM 750+ZhSU-900 and RSM-181 TORUM 740+ZhSU-700 combine harvesters have high productivity per hour of the main period equal to 5.20 and 4.80 ha / h respectively. In addition, the auger installed on a specialized header with an increased diameter has a much higher technological reliability than the auger on a serial grain header.

Reference

1. Belyshkina M. E., Starostin I. A., Zagorujko M. G. Ways to improve cleaning technology and post-harvest processing of soybeans // The Agrarian Scientific Journal. 2020. To 8. Pp. 4-9.
2. Prisyazhnaya I. M., Sinegovskij M. O., Prisyazhnaya S. P. Improvement of the soybean harvesting process as a way to increase the quality of seeds // Russian Agricultural Sciences. 2019. № 5. Pp. 71-75.
3. Ways of improving the technology of harvesting grain crops and soybean / M. V. Kandelya, N. M. Kandelya, V. L. Zemlyak, I. V. Bumbar // Agricultural Journal in the Far East Federal District. 2019. No 2 (50). Pp. 98-109.
4. Sinegovskaya V. T., Aseeva T. A. Innovation solutions for the import phase out purposes // Vestnik of the Russian agriculture science. 2017. No 2. Pp. 24-27.
5. Economic evaluation of the reaper soy unified ZHSU-700 for combine HARVESTERS LLC "KZ "ROSTSELMASH" / V. I. Lazarev [et al.] // Agricultural Journal in the Far East Federal District. 2015. no 2 (34). Pp. 52-56.
6. Can combine headers and travel speeds affect the quality of soybean harvesting operations? / Patricia C. de Menezes, Rouverson P. da Silva [et al.] // Revista brasileira de engenharia Agricola e

ambiental. 2018. No. 22 (10). Pp.732-738.

7. 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. V. 39(4). P. 482-489.

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). Pp. 109-120.

9. Nutrient partitioning and stoichiometry in soybean: A synthesis-analysis / S. Tamagno, G. R. Balboa, Y. Assefa [et al.] / Field Crops Res. 2017. V. 200. Pp. 18-27.

10. Qualitative losses in the soybean seeds mechanized harvesting [Perdas qualitativas na colheita mecanizada de sementes de soja] / R. P. Da Silva [et al.]. Semina: Ciencias Agrarias. 2013. No 34(2). Pp. 477-484.

11. Quality of mechanical soybean harvesting at two travel speeds / Felipe B.F. De Lima [et al.] // Engenharia Agricola. 2017. No. 37 (6). P. 1171-1182.

12. Ramteke R., Singh D., Murlidharan P. Selecting soybean (Glycine max) genotypes for insertion height of the lowest pod, the useful trait for combine harvester // Indian Journal of Agricultural Sciences. 2012. V. 82(6). Pp. 511-515.

Authors Information

Ryadnov Alexey Ivanovich, Professor of the Department "Operation and technical service of machines in agriculture", Volgograd state agrarian University (400002, southern Federal district, Volgograd region, Volgograd, 26 Universitetskiy Ave.), honored worker of the higher school of the Russian Federation, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2364-4944>. E-mail: alex.rjadnov@mail.ru;

Chaplygin Mihail Evgen'evich, Senior Researcher, Laboratory of Technologies and Machines for Sowing and Harvesting Grain and Seeds, Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Agroengineering Center VIM" (109428, РФ, Russian Federation, Moscow, 5 1-j Institutskij proezd), Ph.D. in Engineering Science, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0031-6868>; +79189892184; E-mail: misha2728@yandex.ru;

Tronev Sergej Viktorovich, Professor of the Department "Operation and technical service of machines in agriculture", Volgograd state agrarian University (400002, southern Federal district, Volgograd region, Volgograd, 26 Universitetskiy Ave.), Doctor of Technical Sciences, associate Professor, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5840-322X>, +79616571601, E-mail: stronev@mail.ru;

Davydova Svetlana Aleksandrovna, Leading Researcher of the Laboratory for Forecasting the Development of Machine Systems and Technologies in Agricultural Sector, Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Agroengineering Center VIM" (109428, РФ, Russian Federation, Moscow, 5 1-j Institutskij proezd), Ph.D. in Engineering Science, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1219-3335>, +79653956622, E-mail: davidova-sa@mail.ru.

Информация об авторах

Ряднов Алексей Иванович, профессор кафедры «Эксплуатация и технический сервис машин в АПК» ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет» (400002, Южный федеральный округ, Волгоградская обл., г. Волгоград, пр. Университетский, д. 26.), Заслуженный работник высшей школы РФ, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2364-4944>. E-mail: alex.rjadnov@mail.ru;

Чаплыгин Михаил Евгеньевич, старший научный сотрудник лаборатории технологий и машин для посева и уборки зерна и семян ФГБНУ ФНАЦ ВИМ (109428, Россия, г. Москва, 1-й Институтский пр., д. 5), кандидат технических наук, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0031-6868>; +79189892184; E-mail: misha2728@yandex.ru;

Тронеv Сергей Викторович, профессор кафедры «Эксплуатация и технический сервис машин в АПК» ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет» (400002, Южный федеральный округ, Волгоградская обл., г. Волгоград, пр. Университетский, д. 26.), доктор технических наук, доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5840-322X>, +79616571601, E-mail: stronev@mail.ru;

Давыдова Светлана Александровна, ведущий научный сотрудник лаборатории прогнозирования и развития систем машин и технологий в АПК ФГБНУ ФНАЦ ВИМ (109428, Россия, г. Москва, 1-й Институтский пр., д. 5), кандидат технических наук, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1219-3335>, +79653956622, E-mail: davidova-sa@mail.ru.