

УДК 631.354.2 (043.3)

## ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ И ПАРАМЕТРОВ ПРУЖИННО-ПАЛЬЦЕВОГО АКТИВАТОРА СОЛОМОТРЯСА ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА

**А. В. Клочков,**  
*профессор БГСХА, докт. техн. наук, профессор*

**В. Ф. Ковалевский,**  
*ассистент БГСХА*

*Разработана конструкция пружинно-пальцевого активатора (ППА) для соломотряса зерноуборочного комбайна с учетом основных параметров, оказывающих воздействие на работу данного узла. Конструкция ППА является относительно простой и не требует активного привода, а также дополнительных регулировок после установки на клавишу зерноуборочного комбайна. Процесс работы ППА согласован с колебательными характеристиками клавишного соломотряса. Важнейшими параметрами ППА являются: длина пальца, расстояние между концами пальцев, угол наклона относительно поверхности клавиши, жесткость пальца.*

*Ключевые слова: зерноуборочный комбайн, соломотряс, активатор соломотряса, колебания, упругий палец.*

*The design of a spring-finger activator (SFA) for a straw shaker of a combine harvester is developed, taking into account the main parameters that affect the operation of this unit. The design of the SFA is relatively simple and does not require an active drive, as well as additional adjustments after the installation on the combine harvester's key. The working process of the SFA is coordinated with the vibrational characteristics of the key straw walker. The most important parameters of the SFA are the length of the finger, the distance between the ends of the fingers, the angle of inclination relative to the surface of the key, the rigidity of the finger.*

*Keywords: grain harvester, straw shaker, straw shaker activator, oscillations, elastic finger.*

### Введение

Тенденции повышения урожайности зерновых и зернобобовых культур при одновременном снижении численности комбайнового парка в хозяйствах Республики Беларусь настойчиво говорят о необходимости интенсификации рабочего процесса зерноуборочных комбайнов. Это касается всех устройств и механизмов, особенно соломоотделителя, производительность которого ограничена и сдерживает рост эффективности комбайна. Клавишные соломотрясы, которые наиболее широко используются для выделения остатков зерна из соломы, не имеют технологических регулировок для повышения их производительности и качества работы. Увеличение габаритов соломотрясов технически не оправдано. Поэтому представляется необходимым использование всех резервов данных устройств и применение дополнительных приспособлений для активизации процесса сепарации зерна из соломистого вороха в процессе его обработки на соломотрясе.

Исследования рабочих органов комбайна (режущего аппарата, мотвила, молотильного устройства, соломотряса, очистки) показали, что наиболее нагруженным органом является соломотряс. Процесс воздействия соломотряса на ворох сводится к периодическому встряхиванию массы и перемещению ее к выходу из молотилки [1-5].

Многолетней практикой работы соломотрясов различных типов и проведенными исследованиями доказана возможность получения равноценной работы соломотрясов различных типов при одинаковой нагрузке, но при условии, что параметры этих соломотрясов (размеры, число колебаний, углы наклона, тип и размеры решетки) обоснованы для каждого типа в соответствии с его особенностями. Соломистая масса, выходящая из молотильного барабана, представляет собой смесь, которая состоит из крупной соломы, сбиины, половы и зерна [3, 6]. В этой массе может содержаться до 30 % зерна, которое не всегда полностью выделяется соломотрясом, и поэтому требуются дополнительные устройства – активаторы.

### Основная часть

Для решения задачи снижения возможных потерь зерна при работе соломотряса, на основании проведенного анализа конструкций и рассмотренных особенностей рабочего процесса, сформулируем основные требования к разрабатываемой конструкции активатора:

1. Конструкция должна быть по возможности простой и не требовать активного привода.
2. Основная возможность повышения сепарации зерна может быть обеспечена за счет снижения плотности соломистой массы на клавишах соломотряса.

3. Желательно использование колебательного воздействия на солоmistую массу для повышения эффективности сепарации зерна через слой соломы.

В наиболее полной мере данным требованиям соответствует конструкция активатора с упругими пальцами, закрепленными на концах каскадов клавиш соломотряса (рис. 1).

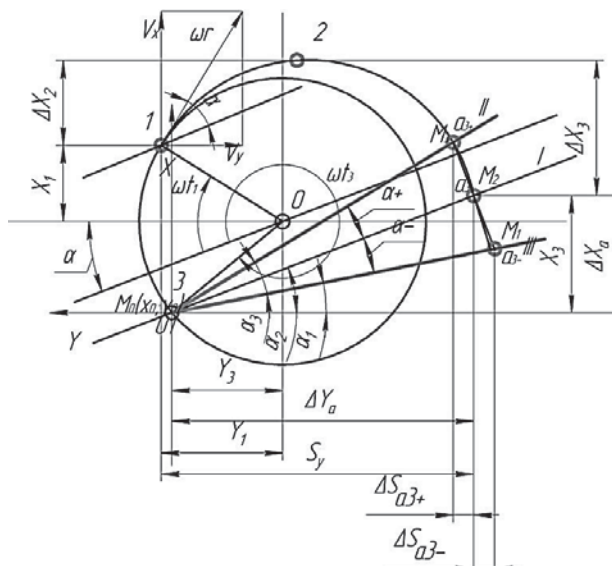


Рисунок 1. Схема рабочего процесса клавиши соломотряса с учетом действия пальцев активатора: I, II, III – положения пальцев активатора; 1, 2, 3 – точки движения солоmistого вороха

При работе соломотряса клавиши совершают круговые движения, определяемые радиусом кривошипа  $r$  приводного вала. Прикрепленный к клавишам активатор также совершает круговое движение радиусом  $r$ , однако за счет упругости пальцев и действия на них солоmistой массы  $M$ , прутки при колебаниях могут отклоняться. За счет установки пальцев под углом, расположенная на клавишах масса приподнимается, а за счет колебаний пальцев дополнительно разрыхляется, обеспечивая сепарацию находящихся в ней зерен.

Основными параметрами данной конструкции являются размеры используемых пальцев, углы их установки относительно клавиш, а также характеристики упругости. При выборе первоначальных пределов данных параметров учитываются следующие условия:

1. Максимальная длина пальца не должна превышать длину каскада клавиши, в противном случае параметры расположения соломы на клавишах изменятся, и будут влиять на работу последующих каскадов.

2. Минимальная длина пальцев может быть выбрана из условия движения подброшенной порции соломы и ограничивается необходимостью попадания соломы на пальцы.

3. Максимальное расстояние «А» между концами пальцев не должно превышать ширины клавиши «Вк».

4. Минимальное расстояние «А» между концами пальцев выбирается с учетом невозможности прохождения между ними стеблей срезанной массы, и может

быть выбрано по размерным характеристикам короткостебельных культур [7]. Однако возможны коррективы этого параметра за счет спутывания стеблей в процессе обмолота и протряхивания на соломотрясе.

5. Упругие свойства пальцев определяются необходимостью поддержания требуемого угла установки под действием максимального количества протряхиваемой массы.

6. Жесткость пальцев может быть выбрана с учетом требования обеспечения их устойчивых колебаний.

Пружинно-пальцевый активатор крепится на конце каскада клавиши соломотряса, а пальцы пружинно-пальцевого активатора совершают колебания относительно поверхности клавиши (рис. 1). В процессе анализа работы пружинно-пальцевого активатора по условию несгруживания массы установили углы отклонения пальца активатора в вертикальной плоскости. При этом  $\alpha_1$  – угол между горизонтальной плоскостью и нижним положением пальца;  $\alpha_2$  – угол между горизонтальной плоскостью и исходным положением пальца;  $\alpha_3$  – угол между горизонтальной плоскостью и верхним положением пальца.

Запишем уравнение проекции всех точек пружинно-пальцевого активатора на ось  $y$ :

$$y = \operatorname{tg}(\alpha_1) \cdot x;$$

$$y = \operatorname{tg}(\alpha_2) \cdot x;$$

$$y = \operatorname{tg}(\alpha_3) \cdot x. \quad (1)$$

Тогда координаты конца пальца активатора в период верхнего, среднего и нижнего положений будут иметь вид:

$$M_1 = (0,5 \cdot \cos \alpha_1; 0,5 \cdot \sin \alpha_1);$$

$$M_2 = (0,5 \cdot \cos \alpha_2; 0,5 \cdot \sin \alpha_2);$$

$$M_3 = (0,5 \cdot \cos \alpha_3; 0,5 \cdot \sin \alpha_3). \quad (2)$$

Следовательно, отрезок отклонения конца пальца от первоначального положения до верхнего имеет вид:

$$M_3 M_2 = (0,5 \cdot (\cos \alpha_3 - \cos \alpha_2); 0,5 \cdot (\sin \alpha_3 - \sin \alpha_2)); \quad (3)$$

$$|M_3 M_2| = \sqrt{(0,25 \cdot (\cos \alpha_3 - \cos \alpha_2)^2 + 0,25 \cdot (\sin \alpha_3 - \sin \alpha_2)^2}.$$

Отрезок для верхнего отклонения составит:  $\Delta S_{a3+} = 0,5(\cos \alpha_2 - \cos \alpha_3)$ .

Дальность полета соломы за один бросок с учетом работы пружинно-пальцевого активатора:

$$S_y = \pi r \frac{\cos \alpha}{k} \pm 0,5(\cos \alpha_2 - \cos \alpha_3). \quad (4)$$

При установке на клавишу соломотряса пружинно-пальцевого активатора (ППА) происходит увеличение дальности полета соломы. Современные зерноуборочные комбайны работают при частотах вращения вала соломотряса 180-215 об/мин, что соответствует показателю кинематического режима 1,81-2,23. При значениях показателя кинематического режима 1,81; 2,02; 2,12; 2,23 разница между дальностью полета составляет 0,040 м. Полученные данные по дальности полета необходимо учесть при установке

ППА на клавишах соломотряса, чтобы при взаимодействии с ППА солома не вылетала за пределы действия пальцев.

При выборе угла установки пальцев активатора основным требованием является несгуживание соломистой массы. Это условие можно определить исходя из теории работы клина, который образует установленный на клавише палец. При этом в зависимости от угла  $\alpha$  возможны два режима работы пальца: соломистая масса скользит вдоль рабочей поверхности ППА; солома перемещается вместе с рабочей поверхностью, сгуживаясь перед ней.

Очевидно, движение частицы  $m$  вдоль рабочей грани клина окажется возможным, если касательная составляющая нормального давления  $N_T$  станет больше, чем максимальная сила трения почвы о поверхность клина, т. е.  $N_T > F_{\max}$ , но  $N_T = N \operatorname{tg}(\pi/2 - \alpha)$ , а  $F_{\max} = N \operatorname{tg} \varphi$ , где  $\varphi$  – угол трения соломистого вороха о рабочую поверхность пальца. Следовательно, условие скольжения будет иметь вид:

$$N \operatorname{tg}(\pi/2 - \alpha) > N \operatorname{tg} \varphi \text{ или } \pi/2 - \alpha > \varphi. \quad (5)$$

Так как угол между направлением нормали  $N$  к рабочей поверхности пальца и направлением скорости ее движения  $v$  является одним из важнейших параметров пальца ППА, то его можно обозначить отдельным символом  $\xi$ . Тогда условие скольжения материала по рабочей поверхности пальца активатора упростится и будет иметь вид:

$$\xi > \varphi, \quad (6)$$

где  $\xi = \pi/2 - \alpha$ .

Приведем значения угла трения соломистой массы по металлической поверхности. Значение коэффициента примем согласно выбранному материалу (пружинная сталь). Согласно источнику [8], коэффициент трения стеблей о палец составляет 0,37. Исходя из того, что тангенс угла трения равняется коэффициенту трения, получаем, что угол трения  $\varphi = \operatorname{arctg} 0,37 = 20,3^\circ$ .

Схема пружинно-пальцевого активатора (ППА) с учетом основных конструктивных параметров представлена на рис. 2.

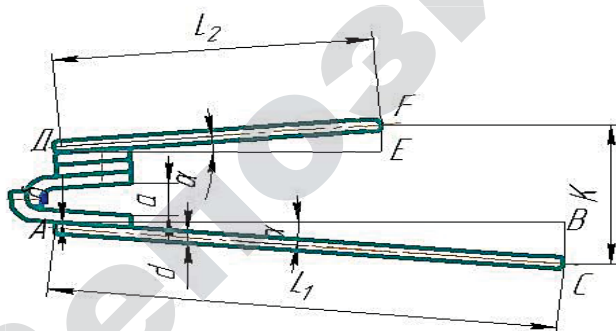


Рисунок 2. Схема с основными параметрами пружинно-пальцевого активатора:

$a$  – ширина узла крепления;  $d$  – диаметр пальца;  
 $\alpha$  – угол отклонения пальца в горизонтальной плоскости;  $A$  – расстояние между концами пальцев;  
 $L_1$ ;  $L_2$  – длина пальцев

При изготовлении активатора использована пружинная проволока (сталь 65Г). В связи с тем, что активатор изготавливается без термической обработки, то возникает зазор между витками пружины. Обозначим зазор между витками пружины –  $\delta$  (м). Величину зазора примем 0,001 м. Расстояние между концами пальцев  $A$  определим по формуле:

$$A = (n+2)d + n\delta + a + BC + EF; \quad (7)$$

где  $a$  – ширина узла крепления, м;

$d$  – диаметр пальца, м.

$n$  – число витков пружины пальца активатора, шт.

Для определения расстояния  $EF$  рассмотрим треугольник  $DEF$ , зная длину  $DF$ , которая численно равна длине пальца  $L_2$ . Определим расстояние  $EF$  по формуле:

$$\sin \alpha = \frac{EF}{L_2}, \quad (8)$$

$$EF = L_2 \cdot \sin \alpha.$$

Для пальца длиной  $L_1$  методика определения будет одинакова, следовательно:

$$\sin \alpha = \frac{BC}{L_1}, \quad (9)$$

$$BC = L_1 \cdot \sin \alpha.$$

Исходя из полученных данных, с учетом зоны деформации, определим общую зону воздействия пружинно-пальцевого активатора на соломистую массу (рис. 3).

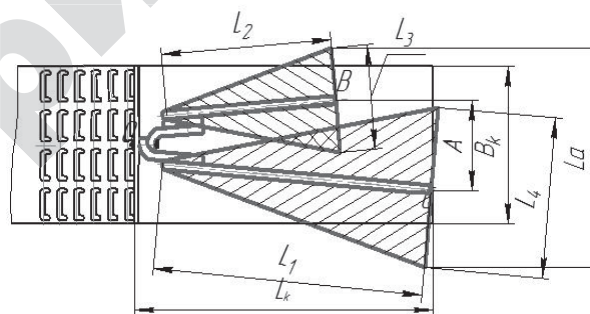


Рисунок 3. Схема для определения зоны воздействия активатора на соломистую массу

Обозначим зону воздействия активатора –  $L_a$ , м. Следовательно:

$$L_a = L_4 / 2 + A + L_3 / 2. \quad (10)$$

Тогда количество ППА для обеспечения протряхивания по всей ширине соломотряса составит:

$$n_a = B_c / L_a. \quad (11)$$

Используя полученную формулу, можно определить возможное количество ППА на клавишах соломотряса зерноуборочного комбайна, но оно требует привязки к конструкции клавиш и экспериментальной проверки результатов работы.

В процессе работы клавишного соломотряса выделение зерна по длине соломотряса изменяется по криволинейной траектории [2], при этом максимальное выделение зерна наблюдается в начале выхода из молотильного барабана, а затем циклически уменьшается по длине соломотряса (рис. 4).

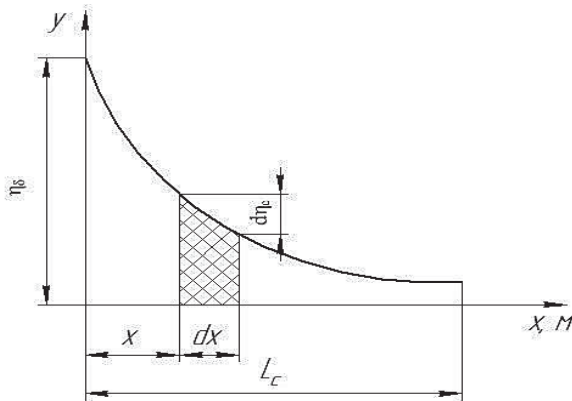


Рисунок 4. Закономерность выделения зерна на клавишном соломотрясе

Согласно рис. 4, коэффициент схода зерна с солоmistым ворохом с клавишного соломотряса будет иметь вид [2]:

$$-\frac{dy}{dx} = \mu \cdot \eta_c \quad (12)$$

При этом, если в данном выражении учесть длину соломотряса, получится следующая зависимость:

$$\eta_c = \eta_\delta \cdot e^{-\mu L_c} \quad (13)$$

Коэффициент выхода зерна из молотильного барабана  $\eta_\delta$  на клавишный соломотряс связан с пропускной способностью зерноуборочного комбайна следующей зависимостью [2]:

$$\eta_\delta = (8 \dots 12) \cdot 10^3 \cdot q \quad (14)$$

В подтверждение указанных закономерностей приведем известные результаты экспериментальных исследований рабочего процесса клавишного соломотряса [9], в соответствии с которыми наибольшее

количество зерна выделяется из солоmistого вороха в передней и средней частях соломотряса.

Варианты опытов 1-8 (рис. 5) имели следующие характеристики: культура, на которой проводились исследования, – озимая рожь; влажность культуры – 13-15 %; засоренность незначительная; частота вращения вала соломотряса – 220 об/мин.

При проведении исследований [9] клавишный соломотряс был разделен на 10 равных по длине участков, и под каждым участком подвешивался мешок на специальном креплении, что позволяло улавливать количество зерна и солоmistого вороха, просеянного на каждом участке (рис. 5).

Согласно рис. 5, на первых трех участках после молотильного аппарата масса просеянного зерна растет, и максимальное выделение зерна из солоmistого вороха наблюдается на участках 4-5, затем наблюдается резкое снижение показателя сепарации, что характерно для участков 7-10.

В диапазоне участков 7-10 целесообразно увеличить интенсивность сепарации солоmistого вороха для того, чтобы обеспечить максимальное выделение зерна и предотвратить потери урожая. Для этого можно предусмотреть различные схемы установки ППА для интенсификации процесса сепарации солоmistого вороха с целью снижения потерь за клавишным соломотрясом (рис. 6).

Расположение ППА на клавишах соломотряса может быть рассмотрено для трех вариантов, которые характеризуются следующими условиями работы:

- в ворохе имеется минимальное количество зерна и его предполагается выделять на заключительном этапе технологического процесса (рис. 6 а);
- содержание зерна в ворохе составляет около 10-15 % и целесообразно обеспечить дополнительное протряхивание массы на второй половине каскадов с удалением от начала соломотряса (рис. 6 б);
- в ворохе содержится более 15 % зерна и необходимо провести его дополнительное протряхивание, начиная со средней части соломотряса (рис. 6 в).

Для определения эффективности применения ППА на соломотрясе были проведены экспериментальные

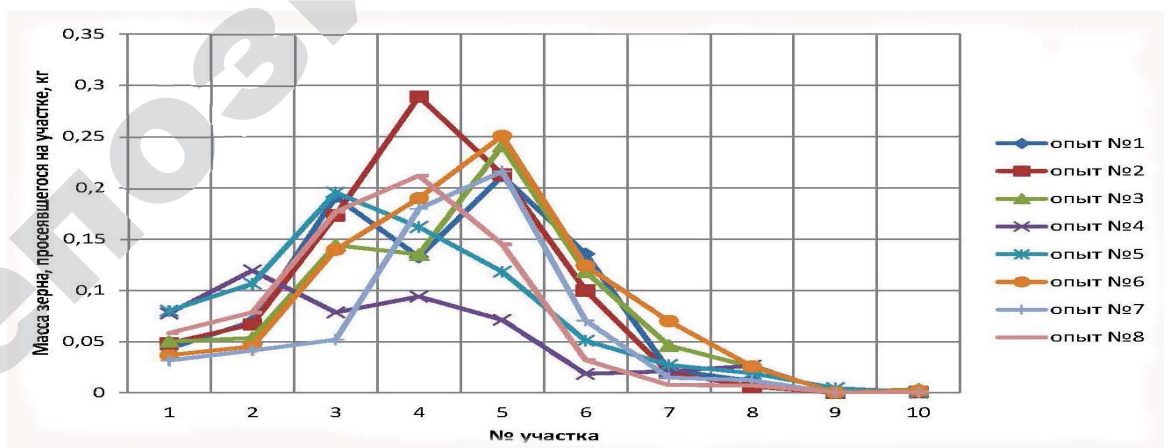


Рисунок 5. Количество просеянного зерна через поверхность клавиш на различных участках по длине соломотряса [9]

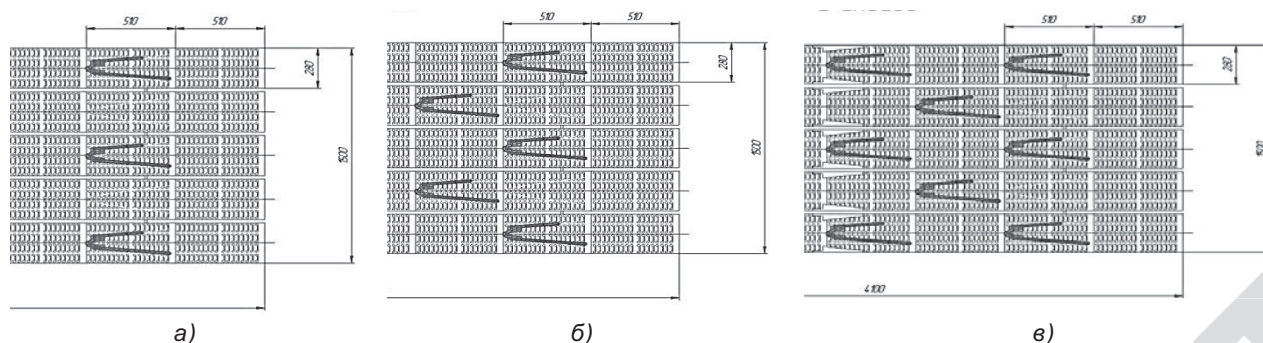


Рисунок 6. Варианты расположения ППА на клавишном соломотрясе комбайна «ПАЛЕССЕ GS»:

а – три ППА (на шестом каскаде); б – пять ППА (на шестом каскаде – 3 ППА и на пятом каскаде – 2 ППА); в – восемь ППА (на шестом каскаде – 3 ППА, на пятом каскаде – 2 ППА, на четвертом каскаде – 3 ППА)

исследования на зерноуборочных комбайнах «ПАЛЕССЕ GS 12» в полевых условиях на различных культурах [10]. Для этого были выбраны два передовых хозяйства в Речицком районе Гомельской области: филиал «Советская Белоруссия» ОАО «Речицкий комбинат хлебопродуктов» и КСУП «Агрокомбинат «Холмеч». Во время проведения полевых исследований забивание ППА растительной и солоистой массой не происходило, также в процессе работы не были выявлены дефекты узла крепления активатора к каскаду клавиши. В процессе уборочной кампании комбайнеры не производили дополнительных регулировок или установок пружинно-пальцевых активаторов. В результате проведенных исследований установлено, что на соломотрясе зерноуборочного комбайна целесообразно использовать три ППА, при этом потери зерна снижаются в 1,55 раза, в сравнении с базовой конструкцией клавишного соломотряса без ППА.

#### Заключение

1. Конструкция разработанного пружинно-пальцевого активатора соломотряса зерноуборочного комбайна имеет упругие пальцы длиной 0,3 м и 0,5 м. Материалом для изготовления пружинно-пальцевого активатора служит пружинная проволока (сталь 65Г). Число витков пружины для пальца длиной 0,3 м составляет 3 шт., а для пальца 0,5 м – равна одному витку.
2. Расстояние между концами пальцев выбирается с учетом ширины клавиш и невозможности прохождения между ними стеблей срезанной массы, и учитывает размерные характеристики короткостебельных культур.
3. В нормальных условиях работы достаточную эффективность сепарации обеспечивает установка трех ППА на клавишах соломотряса зерноуборочного комбайна типа «ПАЛЕССЕ GS».
4. Разработанная конструкция активатора может быть использована на всех типах клавишных соломотрясов зерноуборочных комбайнов различных производителей, закрепленных посредством одного болта в пазу вертикальной стенки предпоследнего каскада соломотряса.
5. Применение разработанного пружинно-пальцевого активатора на соломотрясе зерноуборочного комбайна способствует увеличению интенсивности сепарации

зерна через слой соломы и обеспечивает снижение потерь за комбайном.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авдеев, Н.Е.. Соломотряс и потери зерна / Н.Е. Авдеев // Наука и передовой опыт в сельском хозяйстве. – 1957. – №3. – С. 73-77.
2. Кленин, Н.И. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины: Элементы теории рабочих процессов, расчет регулировочных параметров и режимов работы / Н.И. Кленин, В.А. Сакун. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Колос, 1980. – 671 с.
3. Зерновые комбайны СССР и зарубежных стран. Теория и анализ конструкций / И.Ф. Василенко [и др.]. – Москва, 1958. – 295 с.
4. Василенко, И.Ф. Теория соломотряса. / И.Ф. Василенко // Труды по земледельческой механике, том VI.
5. Летошнев, М.Н. Сельскохозяйственные машины. Теория, расчет проектирование и испытание / М.Н. Летошнев. – М.: гос. изд-во с.-х. литературы, 1955. – 764 с.
6. Клочков, А.В. Концепция зерноуборочного комбайна / А. В. Клочков. – Горки: БГСХА, 2011. – 120 с.
7. Клочков, А. В. Параметры растений зерновых колосовых и крестоцветных культур с обоснованием высоты среза при уборке / А. В. Клочков, О. С. Клочкова, О. Б. Соломко // Вестн. БГСХА. – 2015. – № 1. – С. 49-55.
8. Клецкин, М.И. Справочник конструктора сельскохозяйственных машин / М.И. Клецкин. – М.: Машиностроение, 1967. – Т. 1. – 724 с.
9. Горячкин, В.П. Теория, конструкция и производство сельскохозяйственных машин / В.П. Горячкин. – Москва, 1936. – Т. 3. – 780 с.
10. Клочков, А. В. Новый активатор соломотряса зерноуборочного комбайна / А. В. Клочков, В. Ф. Ковалевский // Наше сельское хозяйство. – 2016. – № 13. – С. 14-17.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 26.09.2017