



## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ВРАЩАЮЩЕГО МОМЕНТА ВАЛА КАРТОФЕЛЕСОРТИРОВАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

В.А. Николаев (фото)  
д.т.н., доцент кафедры механизации сельскохозяйственного  
производства,  
А.С. Коновалов  
студент 4 курса инженерного факультета  
ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА

*Картофеле-  
сортировальная  
установка,  
вращающиеся  
валы, картофель,  
сортирование,  
пропускная способность*

*The potato-grading unit,  
rotating shaft, potato,  
sorting, throughput*

Чтобы вычислить мощность электродвигателя и рассчитать привод валов картофелесортировальной установки [1], необходимо определить суммарный вращающий момент. В процессе перемещения по валам картофелесортировальной установки клубни картофеля совершают сложное движение, которое зависит от многих факторов. Представим это сложное движение в виде двух составляющих. Одна из составляющих вращающего момента необходима для перемещения клубней картофеля с вала на вал в поперечном к осям этих валов направлении. Для её определения рассмотрим взаимодействие клубня картофеля со спиралью, расположенной на одном из валов. Рассечём два соседних вала плоскостью, перпендикулярной осевой линии одного из них. Для расчёта примем допущения:

- клубни имеют шарообразную форму;
- диаметры средних клубней 37 мм в начале сепарации средней фракции; 60 мм – в конце сепарации средней фракции; диаметры крупных клубней – 80 мм;
- масса средних клубней 0,06 кг, при их диаметре 37 мм; 0,08 кг – при диаметре 60 мм; масса крупных клубней – 0,1 кг.

Обозначим  $K1$  клубень, находящийся в промежутке между валами. На него действует сила тяжести  $G$ , приложенная в точке  $A$  (рис. 1).

В точке  $B$  контакта клубня со спиралью возникает нормальная реакция  $N$  спирали на воздействие клубня. Приведем силу тяжести к точке  $B$ . При этом возникает момент  $M_k$ , направленный против часовой стрелки. Следовательно, клубень скатится со спирали и будет находиться в промежутке между валами. Его будет перемещать спираль вдоль этого промежутка, пока расстояние между валами не превысит диаметра клубня. Так как оси валов наклонены к горизонтали под углом  $20^\circ$ , то затратами энергии на перемещение шарообразного клубня спиралью можно пренебречь. Поскольку формы клубней различные и отличаются от шарообразных, то затраты на это перемещение определить сложно, и их учтём впоследствии.

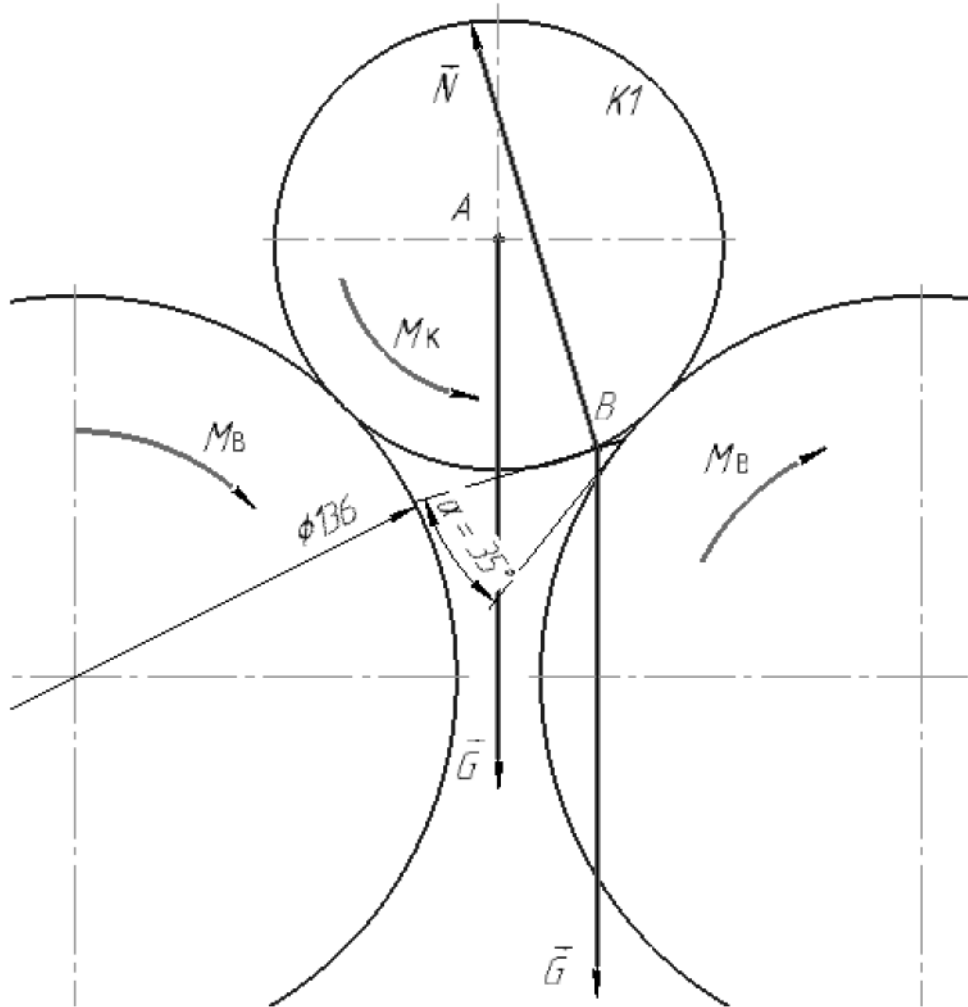


Рисунок 1 – Силы, действующие на клубень K1 картофеля

Обозначим K2 клубень, расположенный левее и выше клубня K1 (рис. 2). Затратами энергии на его перемещение вдоль промежутка между валами также можно пренебречь, поскольку спирали будут смещать клубень K2 вдоль валов пока не провалится между валами клубень K1 или соседние с ним. В этом случае он займет положение клубня K1.

Обозначим K3 клубень, расположенный правее и выше клубня K1 (рис. 3). Если пренебречь реакцией клубня K1, то возникают две нормальные силы реакции. Реакция спирали:  $N_c = G \cdot \cos \beta$  Н; реакция вала:  $N_b = G \cdot \cos \gamma$  Н, где  $G$  – сила тяжести,  $G = mg = 0,98$  Н; углы  $\beta = 17^\circ$  и  $\gamma = 9^\circ$  из построения.

Тогда  $N_c = 0,87$  Н;  $N_b = 0,95$  Н.

Сила  $N_b$  является пассивной, а сила  $F_K$ , являющаяся проекцией силы  $N_c$ , будет стремиться

перебросить клубень через правый вал. При этом вращающий момент, образующийся на валах в начале сепарации клубней картофеля средней фракции,  $M_b = F_K \cdot h_2$ , где  $F_K$  – тангенциальная сила, действующая на клубень картофеля со стороны спирали;  $h_2$  – плечо силы  $F_K$ , из построения  $h_2 = 70$  мм. Силу  $F_K$  определим из построения, или

$$F_K = N_c \cdot \cos \varphi = 0,42 \text{ Н};$$

$$M_b = 0,0294 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Рассмотрим силы, действующие на клубень K3 картофеля при нахождении его на одной вертикали с валом. Из рисунков 3 и 4 видно, что сила  $F_K$  изменяется от некоторого максимального значения до нуля при повороте вала на угол  $\gamma$ .

Примем для расчетов максимальный вращающий момент, поскольку на клубень K3 могут

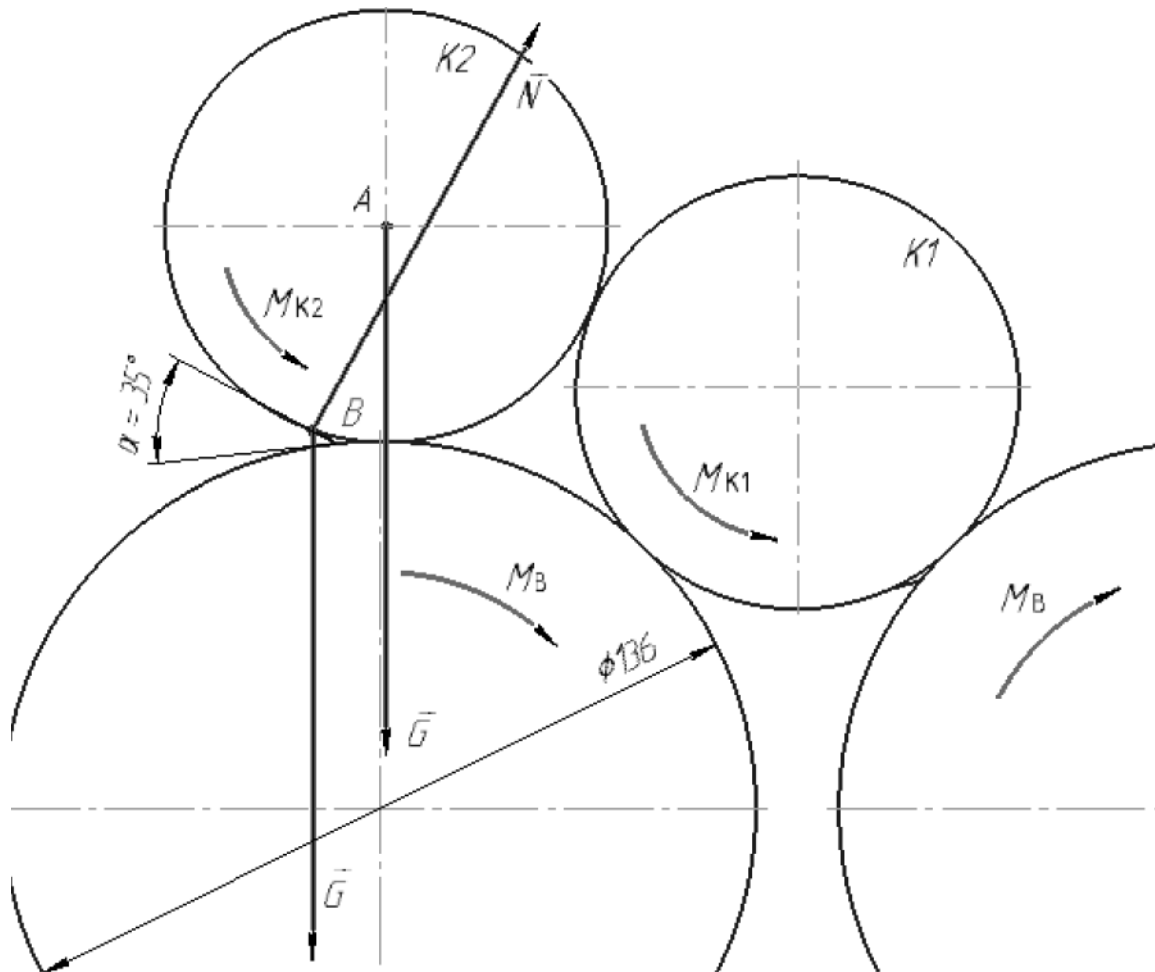


Рисунок 2 – Силы, действующие на клубень K2 картофеля

воздействовать расположенные выше клубни, воздействие которых рассчитать очень сложно.

Рассмотрим ситуацию, когда диаметр клубня  $K1 = 60$  мм, то есть диаметр клубня в конце сепарации средней фракции, а диаметр клубня  $K3 = 80$  мм. Силы, действующие на клубни, приведены на рисунке 5.

Из построения тангенциальная сила  $F_K = 0,59$  Н. Вращающий момент, необходимый для воздействия спирали с такой силой,  $M_B = 0,042$  Н·м.

Если рассматривать ситуацию, когда диаметр клубня  $K1$  будет меньше 60 мм, то перебрасывания клубня  $K3$  происходить не будет, так как центр тяжести клубня  $K3$  будет находиться слева от точки  $B$  взаимодействия клубня со спиралью.

Если принять диаметр клубня  $K3$  меньше 80 мм, то есть клубни малой и средней фракции, то необходимый вращающий момент  $M_B$  будет меньше, так как уменьшится сила тяже-

сти  $G$ . Соответственно уменьшится сила реакции опоры  $N$  и уменьшится тангенциальная сила  $F_K$ . Из расчетов максимальный вращающий момент, требуемый для перекачивания одного клубня в другой промежуток между валами,  $M_B = 0,042$  Н·м.

Рассчитаем необходимый вращающий момент, когда на клубень  $K3$  опирается клубень  $K4$ . По результатам расчетов в предыдущем разделе максимальный вращающий момент  $M_B = 0,014063$  Н·м, требуемый для перекачивания одного клубня в другой промежуток между валами, возникал, когда диаметр клубня  $K1 = 60$  мм, а клубня  $K3 = 80$  мм.

Рассмотрим ситуацию, когда диаметр клубня  $K1 = 60$  мм, клубня  $K3 = 80$  мм, клубня  $K4 = 37$  мм, а клубня  $K5 = 80$  мм. Силы, действующие на клубень  $K3$  картофеля, представлены на рисунке 6.

Вращающий момент  $M_B$ , необходимый для перемещения клубня  $K3$ , обусловлен силой  $F_K$ ,

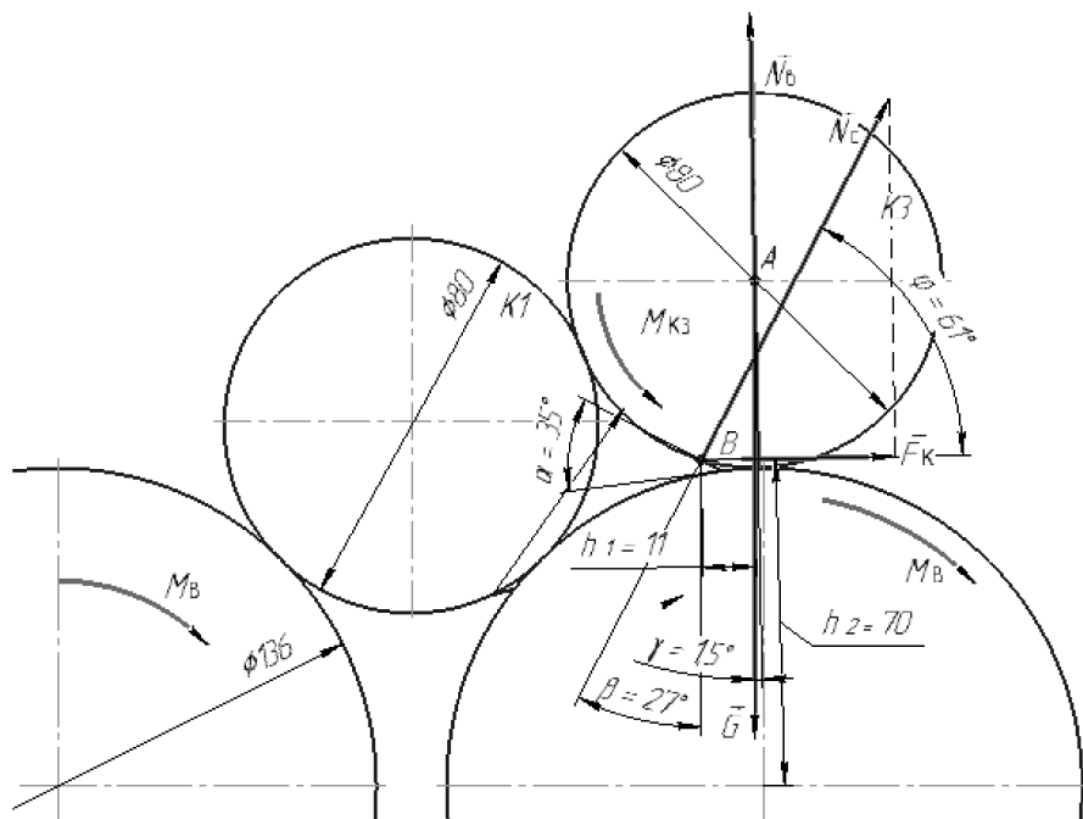


Рисунок 3 – Силы, действующие на клубень К3 картофеля

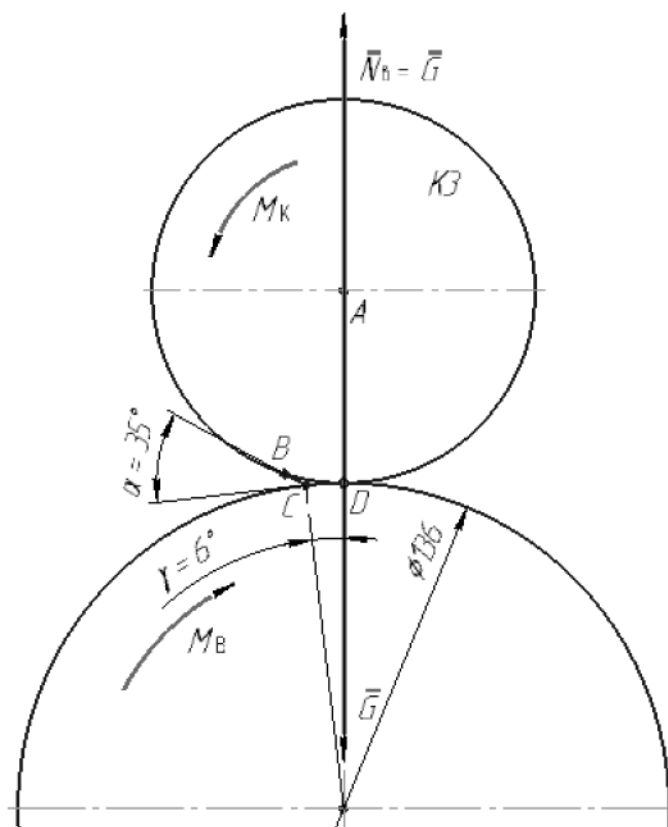


Рисунок 4 – Силы, действующие на клубень К3 картофеля в момент нахождения его на одной вертикали с валом

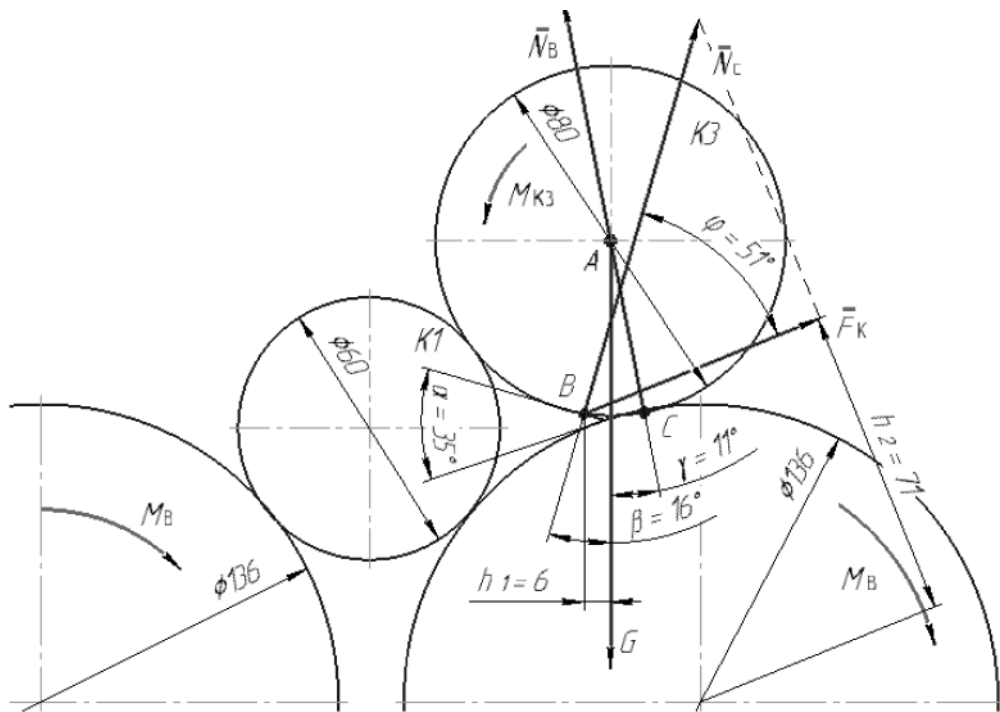


Рисунок 5 – Силы, действующие на клубень K3 картофеля

а также преодолением силы  $N_{K4}$  воздействия клубня K4 на клубень K3:

$$M_B = F_{K3} \cdot h_3 + N_{K4} \cdot h_4 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Сила  $N_{K4}$  равна по модулю и противоположно направлена по отношению к силе  $F_G$ , поэтому

$$N_{K4} = G \cdot \cos \varphi_1 = 0,09 \text{ Н};$$

$$M_B = 0,05116 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Расчитаем вращающие моменты  $M_B$ , необходимые для перемещения клубня картофеля в начале сепарации клубней малой фракции, когда диаметры клубней K4 и K5 имеют другие значения. Результаты расчетов занесем в таблицу 1. Когда диаметр клубня K5 = 80 мм, то клубень K3 не помещается на вал, поэтому дальнейший расчет не требуется. Расположение клубней в три ряда

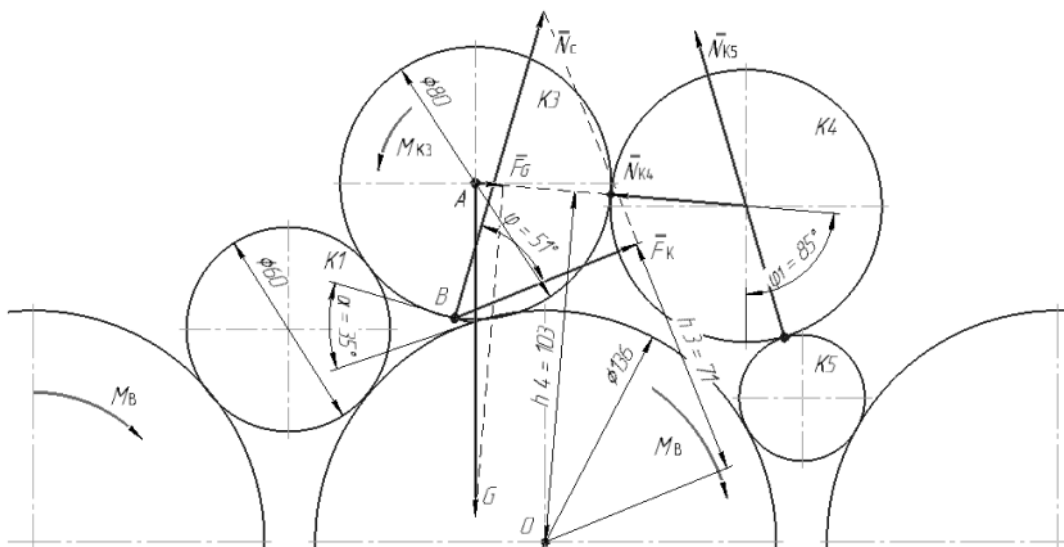


Рисунок 6 – Силы, действующие на клубень K3 картофеля

Таблица 1 – Результаты расчетов вращающих моментов  $M_B$ , необходимых для перемещения клубня картофеля в начале сепарации клубней малой фракции

Диаметр клубня K4, мм	Диаметр клубня K5, мм	Вращающий момент $M_B$ , Н · м
80	37	0,05116
	60	0,07399
	80	0,09873
60	37	–
	60	0,05527
	80	0,08
37	37	–
	60	0,05725
	80	0,05794

нежелательно, так как это ухудшит сепарацию и увеличит необходимый вращающий момент.

Из таблицы видно, что вращающий момент варьирует от 0,05116 до 0,09873 Н · м. Так как при сепарации клубней действует много

трудно учитываемых факторов, то для дальнейших расчётов примем максимально возможный необходимый вращающий момент для перемещения клубня картофеля в начале сепарации клубней малой фракции  $M_B = 0,07$  Н · м.

#### Литература

1. Николаев, В.А. Определение угловой скорости вала картофелесортировальной установки [Текст] / А.В. Николаев, А.С. Коновалов // Вестник АПК Верхневолжья. – 2016. – № 1 – С. 95–96.
2. Клецкин, М.И. Справочник конструктора сельскохозяйственных машин. [Текст]: справочник / М.И. Клецкин. – М.: Машиностроение, 1967. – 830 с.
3. Лачуга, Ю.Ф. Теоретическая механика [Текст]: учебник / Ю.Ф. Лачуга, В.А. Ксендзов. – М.: КолосС, 2010. – 576 с.

#### References

1. Nikolaev, V.A. Opredelenie uglovoj skorosti vala kartofelesortiroval'noj ustanovki [Tekst] / A.V. Nikolaev, A.S. Konovalov // Vestnik APK Verhnevolzh'ja. – 2016. – № 1 – S. 95–96.
2. Kleckin, M.I. Spravochnik konstruktora sel'skhozozajstvennyh mashin. [Tekst]: spravochnik / M.I. Kleckin. – M.: Mashinostroenie, 1967. – 830 s.
3. Lachuga, Ju.F. Teoreticheskaja mehanika [Tekst]: uchebnik / Ju.F. Lachuga, V.A. Ksendzov. – M.: KolosS, 2010. – 576 s.