

УДК 621.01

**СИЛОВОЙ РАСЧЕТ СОЕДИНЕНИЙ
КОЛОСНИКА ПИЛЬНОГО ДЖИНА СО ВСТАВКОЙ****FORCE CALCULATION
OF GIN RIB CONNECTIONS WITH INSERTION**

Д.М. МУХАММАДИЕВ, Х.А. АХМЕДОВ, И.О. ЭРГАШЕВ, Л.Ю. ЖАМОЛОВА, Т.Д. МУХАММАДИЕВ
D.M. MUHAMMADIEV, KH.A. AKHMEDOV, I.O. ERGASHEV, L.YU. ZHAMOLOVA, T.D. MUHAMMADIEV

(Институт механики и сейсмостойкости сооружений им. М.Т.Уразбаева
Академии наук Республики Узбекистан)

(Institute of Mechanics and Seismic Stability of Structures named after M.T. Urazbaev
of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan)

E-mail: davlat_mm@mail.ru

Колосники в колосниковой решетке изнашиваются от касания пил из-за их коробления и погрешности сборки колосниковой решетки, что приводит к увеличению межколосникового зазора в рабочей зоне и нарушению процесса дженирования. Для устранения вышеуказанных недостатков предложена новая стальная конструкция колосника со вставкой (сменный элемент) – изогнутый лист, концы которого выполнены в виде трапеции. Для жесткого и надежного крепления на брусе колосники имеют выступ. На поверхности бруса отверстия для соединения бруса с колосником выполнены в виде четырехугольника. Однако в научной литературе отсутствуют сведения о силовых расчетах и обоснованных габаритных размерах конструкций, как колосника, так и вставки при их сборке. Предложены законы изменения силы закрепления вставки силы трения, КПД соединения, изгиба колосника от установки вставки и ее перемещения. Использование рекомендаций в конструкции колосника и вставки значения перемещений, угла наклона и относительной деформации колосника позволят существенно сократить производственные затраты.

The ribs in the rib grate wear out from touching the saws due to their warpage and errors in the assembly of the rib grate, which leads to an increase in the rib grate gap in the working area and disrupt the ginning process. To eliminate the above drawbacks, a new steel construction of the rib grate with an insertion (replaceable element) as a curved sheet, the ends of which are made in the form of a trapezoid. For hard and reliable fastening on the beam, the grates have a protrusion. On the surface of the timber, holes for connecting the timber with the grate are made in the form of a quadrangle. However, in the scientific literature there is no information

about power calculations and reasonable overall dimensions of structures, both of the grate and the insert during their assembly. The laws of changing the force of fixing the insert, the friction force, the efficiency of the connection, the bending of the grate from the installation of the insert and its movement are proposed. Using the recommendations in the construction of the grate and inserting the displacement value, the angle of inclination and the relative deformation of the grate will significantly reduce production costs.

Ключевые слова: пильный джин, колосник, вставка, конструкция, сила закрепления вставки, сила трения вставки, изгибающий момент колосника, угол наклона, перемещения вставки.

Keywords: saw gin, rib, insertion, construction, insertion fixing force, insertion friction force, bending moment of the rib, tilt angle, insertion movement.

Практика использования колосниковых решеток на хлопкоочистительных заводах показала, что колосники в колосниковых решетках изнашиваются от касания пил вследствие их коробления и погрешности сборки колосниковой решетки. Износ колосников в рабочей зоне приводит к увеличению межколосникового зазора в зоне контакта с пильным диском и нарушению процесса джинирования.

Для решения этих проблем в работах Р.Г.Махкамова, М.Агзамова, А.С.Ибрагимова, А.А.Исмаилова [1], [2] осуществлен выбор основных параметров поверхностной закалки рабочей зоны джинных и линтерных колосников, изготавливаемых из стали марки 45. Выбрана температура закалки у поверхности 960°C и на границе нагретого слоя 850°C [1]. Проведенные сравнительные испытания колосников с закаленной рабочей зоной с использованием выбранных параметров закалки показали, что срок их эксплуатации увеличивается в два с лишним раза [2].

В работах Д.А.Котова, П.Н.Тютина и Р.Ю.Меламедова для снижения времени сборки и разборки колосниковой решетки разработаны принцип полной взаимозаменяемости деталей и размерная цепь колосниковой решетки [3], [4].

Р.Г.Махкамовым, А.А.Исмаиловым и П.Раджибаевым предложена идея использования сменной рабочей части, изготовленной из износостойкого материала, не вызывающего искрообразования при касании вращающихся стальных (дисковых)

пил, что исключает необходимость изготовления колосников из чугуна [5], [6].

В работе [7] для устранения вышеуказанных недостатков рекомендована новая стальная конструкция колосника со вставкой (сменный элемент) – изогнутый лист, концы которого выполнены в виде трапеции.

В [8] установлены максимальные значения прогиба, угла поворота и условие прочности по нормальным и касательным напряжениям при изгибе консольного колосника пильного джина, выполняемым с большим запасом. В [9] исследованы крепления колосников к брусу и соединения вставка–винт–колосник. В результате установлены минимальный диаметр и высота участка смятия винта соединения вставка–винт–колосник. Предложенная конструкция консольного колосника характеризуется силой реакции опор, в 3,5 раза большей относительно двухопорного колосника.

В работе [10] для выявления вероятности повторного возврата семян в рабочую камеру составлены уравнения движения семян по поверхности колосника, изучены движения семян и их соскок с поверхности колосника.

В [11] предложено изготовление колосников пильного джина из полимера, конструкция которого исключает образование ржавчины и влияние влаги. Кроме того, в случае сгорания волокна, вызывающего тепло, из строя выйдет колосник, а не пильный диск.

Анализ научной литературы показал отсутствие сведений о силовых расчетах и обоснованных габаритных размерах конструкций, как колосника, так и вставки при их сборке.

Для работоспособности данной конструкции колосника со вставкой необходимо произвести силовой расчет колосника со вставкой [7], [12].

Расчет колосника со вставкой сводится к определению силы W , внешней силы Q перемещения вставки. Колосник рассматривают в закрепленном состоянии, а конструкцию вставки из изогнутого листа принимают как плоский лист в виде трапеции (рис. 1 – расчетная схема соединений колосника со вставкой (а) и его разрез по А-А (б): 1 – вставка; 2 – колосник).

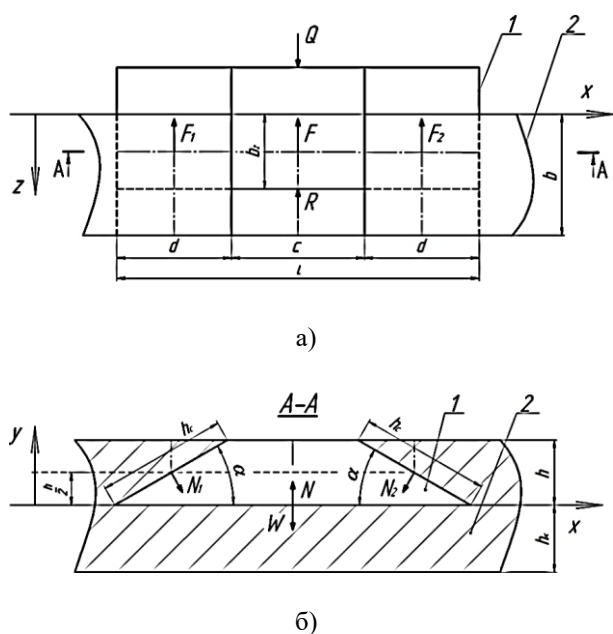


Рис. 1

На вставку действуют сила Q со стороны внешнего привода, нормальные силы N , N_1 , N_2 и силы трения F , F_1 , F_2 (рис. 1-а и б). Силы трения R направлены навстречу силе Q . Для составления уравнений статики нужно выявить силы, действующие в горизонтальном и вертикальном направлениях. С этой целью на наклонной поверхности вставки геометрически складывают векторы сил N , N_1 , N_2 и F , F_1 , F_2 , а затем полученную равнодействующую силу трения R и вертикальную, равную силе закрепления W вставки 1 на колосник 2.

Уравнения статики колосника со вставкой вдоль координат x и y :

$$\left. \begin{aligned} R &= (F + F_1 + F_2), \\ W &= N + (N_1 + N_2) \cos \alpha. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Если учесть $N_1 = N_2$ и $F_1 = F_2$, тогда:

$$\left. \begin{aligned} R &= F + 2F_1, \\ W &= N + 2N_1 \cos \alpha. \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

Нормальная сила на основании колосника:

$$N = m_{bc} g. \quad (2)$$

Нормальная сила на наклонных плоскостях колосника и вставки с учетом, что соединение происходит в режиме натяг:

$$N_1 = [\sigma] h_c b_z = [\sigma] \frac{hb_z}{\sin \alpha}, \quad (3)$$

где $h_c = \frac{h}{\sin \alpha}$,

$$N_2 = [\sigma] h_c b_z = [\sigma] \frac{hb_z}{\sin \alpha}. \quad (4)$$

Сила трения на основании колосника:

$$F = fN = fm_{bc} g. \quad (5)$$

Сила трения в режиме натяг на наклонных плоскостях колосника:

$$F_1 = fN_1 = f[\sigma] h_c b_z = f[\sigma] \frac{hb_z}{\sin \alpha}, \quad (6)$$

$$F_2 = fN_2 = f[\sigma] h_c b_z = f[\sigma] \frac{hb_z}{\sin \alpha}. \quad (7)$$

После подстановки уравнений (3) и (4) в уравнение статики и преобразования уравнения относительно W (1) формула для вычисления силы закрепления вставки принимает следующий вид:

$$W = m_{bc} g + 2[\sigma] \frac{hb_z}{\sin \alpha} \cos \alpha. \quad (8)$$

Из анализа уравнения (8) и рис. 2 (изменение силы трения R между вставкой и колосником и силы закрепления вставки W в зависимости от угла наклона α вставки и колосника) следует, что сила закрепления увеличивается по мере увеличения толщины вставки h , глубины захода b_z вставки и прочности материала вставки, а с увеличением угла наклона α вставки и колосника от 10 до 90° сила закрепления W снижается

$$R=(f m_{bc} g + f[\sigma] \frac{hb_z}{\sin \alpha} + f[\sigma] \frac{hb_z}{\sin \alpha}) = f(m_{bc} g + 2[\sigma] \frac{hb_z}{\sin \alpha}). \quad (9)$$

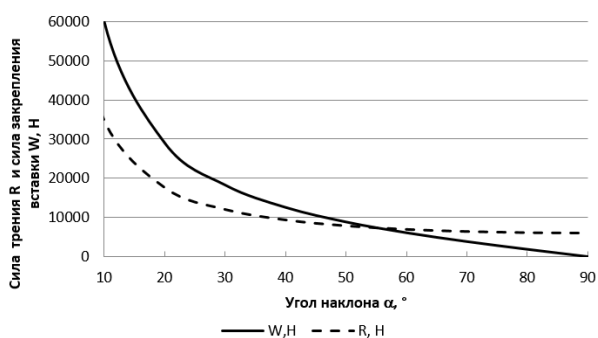


Рис. 2

Анализ уравнения (9) и рис. 2 показывает, что с увеличением массы m_{bc} вставки, прочности материала $[\sigma]$, толщины вставки h , глубины захода вставки b_z и коэффициента трения f увеличивается сила трения R между вставкой и колосником. С увеличением угла наклона α вставки и колосника от 10 до 90° сила трения R снижается с 34663 до 6019 Н. При этом $R=6203,6$ Н для $\alpha=76^\circ$.

В процессе установки вставки на колосник значение силы Q внешнего привода не должно превышать $R=6203,6$ Н, так как это максимальное значение силы трения для $\alpha=76^\circ$, которое считается рациональным значением по технологии изготовления, как вставки, так и колосника.

КПД вставки с колосником как клиновой механизм с учетом формул (8) и (9) равен [14]:

$$\eta = \frac{W}{R} = \frac{m_{bc} g + 2[\sigma] \frac{hb_z}{\sin \alpha} \cos \alpha}{f(m_{bc} g + 2[\sigma] \frac{hb_z}{\sin \alpha})}. \quad (10)$$

с 59888 до 0,25 Н. В расчетах использованы следующие значения параметров колосника и вставки: $f=0,57$; $[\sigma]=110$ МПа; $h=0,004$ м; $b_z=b=0,012$ м; $g=9,806$ м/с² и $m_{bc} \cdot g=0,026 \cdot 9,806=0,255$ Н; $E=2 \cdot 10^{11}$ Н/м²; $L=0,05975$ м [13]. При этом $W=2633,16$ Н для $\alpha=76^\circ$.

При решении обратной задачи (сила W известна, а искомой силой является Q) после преобразования уравнения (1) получим:

Учитывая, что $m_{bc} \cdot g=0,026 \cdot 9,806=0,255$ Н $\ll R < W$, (10) можно записать в следующем виде:

$$\eta = \frac{W}{R} = \frac{2[\sigma] \frac{hb_z}{\sin \alpha} \cos \alpha}{f 2[\sigma] \frac{hb_z}{\sin \alpha}} = \frac{\cos \alpha}{f}. \quad (11)$$

Анализ уравнения (10), (11) и рис. 3 (изменение КПД η в зависимости от угла наклона α вставки и колосника) показывает, что КПД η соединения узла колосник со вставкой, в основном, зависит от коэффициента трения f и угла наклона α вставки и колосника. КПД η с увеличением угла наклона α вставки и колосника от 10 до 90° снижается с 1,73 до 0. При $\alpha=55^\circ$ КПД $\eta=1$, а при $\alpha=76^\circ$ $\eta=0,42$.

Изгибающая сила колосника N_x от вставки (рис. 4 – расчетная схема по определению изгибающего момента соединений колосника (1) со вставкой (2)):

$$N_x = -N_1 = -[\sigma] h b_z. \quad (12)$$

Тогда изгибающий момент будет равен

$$M_{xc} = -\frac{N_x h_c}{2} = -\frac{-N_1 h_c}{2} = \frac{N_1 h}{2 \sin \alpha} = \frac{[\sigma] h^2 b_z}{2 \sin \alpha}. \quad (13)$$

При этом изгиб [15]:

$$y_{xc} = \frac{[\sigma] J}{M_{xc}} = \frac{[\sigma] \frac{b_z h^3}{12}}{[\sigma] \frac{h^2 b_z}{2 \sin \alpha}} = \frac{h \sin \alpha}{6}. \quad (14)$$

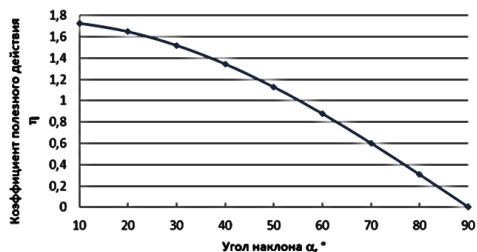


Рис. 3

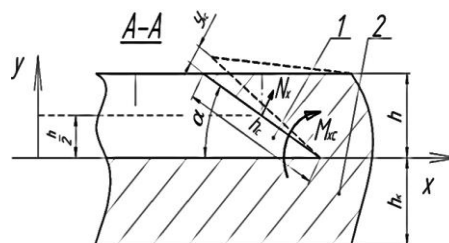


Рис. 4

Анализ уравнений (12)...(14) и рис. 4 показывает, что с увеличением прочности материала $[\sigma]$, толщины вставки h и глубины захода вставки b_z увеличиваются изгибающая сила и момент, а с увеличением угла наклона α вставки и колосника от 10 до 90° увеличивается изгиб колосника y_{xc} с 0,0001 до 0,00066 м (рис. 5 – изменение изгиба ко-

лосника в зоне контакта со вставкой y_{xc} в зависимости от угла наклона α вставки и колосника). При этом $y_{xc}=0,000647$ м для $\alpha=76^\circ$. Установлено, что максимальная сила изгиба колосника в зоне его установки по оси x $N_x=5280$ Н и зависит от материала вставки и ее высоты и ширины.

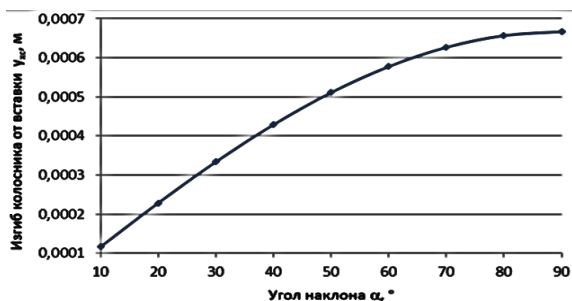


Рис. 5

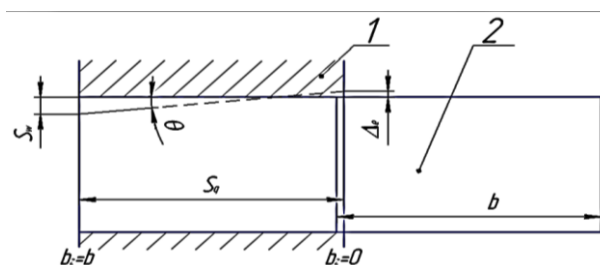


Рис. 6

При перемещении вставки (рис. 6 – расчетная схема перемещений в колосник (1) вставки (2)) из положения захода $b_z=0$ в положение захода $b_z=b$ на расстояние $S_q=b$ наклонная поверхность вставки приближается к колоснику в вертикальном направлении на расстояние S_w (ход вставки).

длительной эксплуатации; W/J_k – податливость колосника ($J_k=Eb_h/L=883682008$ Н/м); W/J_b – податливость вставки ($J_b=Eb_h/L=160669456$ Н/м). При расчете использованы следующие данные: $E=2 \cdot 10^{11}$ Н/м²; $L=0,05975$ м; $b_z=b=0,012$ м; $h=0,004$ м; $h_k=0,022$ м [13].

Для вычисления необходимого перемещения вставки $S_q=b$, заложенного в конструкцию колосника и вставки, задаются гарантированным ходом S_w и углом клина θ . Ход S_w предварительно рассчитывают по формуле [14]:

$$S_w = \Delta_e + \frac{W}{J_k} + \frac{W}{J_b} + h_x, \quad (15)$$

где $\Delta_e=0,0001$ м – гарантированный зазор между колосником и вставкой для свободной установки вставки на колосник; $h_x=0,0001$ м – запас хода с учетом износа трущихся поверхностей колосника при

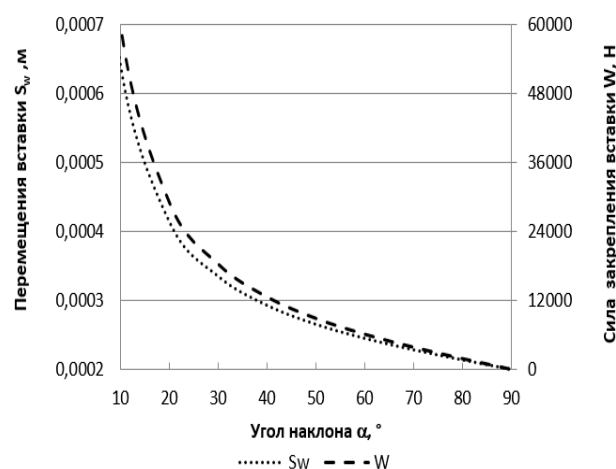


Рис. 7

Анализ уравнения (15) и рис. 7 (изменение перемещения вставки по вертикали S_w и силы закрепления вставки W в зависимости от угла наклона α вставки и колосника) показывает, что перемещение вставки S_w прямо пропорционально силе закрепления вставки W , и с увеличением угла наклона α вставки и колосника от 10 до 90° перемещение вставки S_w снижается с $0,64$ до $0,2$ мм, а при $\alpha=76^\circ$ $S_w=0,22$ мм.

Передаточное отношение перемещений вставки [14]:

$$i = \frac{S_w}{S_q} = \operatorname{tg} \theta. \quad (16)$$

Зная перемещения $S_q = b = 0,012$ м, $S_w = 0,00022$ м при $\alpha=76^\circ$, вычислим относительную деформацию колосника:

$$\varepsilon = \frac{S_w}{S_q} = \frac{0,00022 \text{ м}}{0,012 \text{ м}} = 0,01828. \quad (17)$$

Если при изготовлении вставки и колосника допускаются отклонения от размера в виде наклона θ (рис. 6) и для перемещения S_q и S_w , то из (16) определяем угол наклона θ :

$$\theta = \operatorname{arctg} \frac{S_w}{S_q} = \operatorname{arctg} \varepsilon = \operatorname{arctg} 0,01828 = 1^\circ 3'. \quad (18)$$

Значения перемещения S_q и S_w , угла наклона θ и относительной деформации колосника ε необходимо заложить в конструкцию колосника и вставки.

В Ы В О Д Ы

Силовой расчет соединений узла колосника со вставкой позволил установить силу $W=2633,16$ Н закрепляющей вставки (толщиной 4 мм) за счет наклонных углов $\alpha=76^\circ$ вставки и колосника с КПД $\eta=0,42$ и силой трения $R=6203,6$ Н. При этом припуск при изготовлении вставки составляет $S_w=0,22$ мм и $\theta=1^\circ 3'$. Значения силы Q внешнего привода не должны превышать $R=6203,6$ Н для $\alpha=76^\circ$.

1. Махкамов Р.Г., Агзамов М. Выбор параметров закалки джиновых линтерных колосников // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2006, № 2. С. 101...104.

2. Исмаилов А.А., Махкамов Р.Г., Ибрагимов А.С., Агзамов М. Исследование износа различных типов колосников // Проблемы текстиля. – 2005, №3. С. 20...23.

3. Котов Д.А., Тютин П.Н., Меламедов Р.Ю. О качестве изготовления джиновых колосников // Хлопковая промышленность. – 1971, № 3. С. 15...18.

4. Тютин П.Н., Меламедов Р.Ю. Взаимозаменяемость конструктивных элементов колосниковой решетки пильного джина // Хлопковая промышленность. – 1971, № 4. С. 25...29.

5. Раджибаев П., Махкамов Р.Г. Повышение долговечности и надежности колосниковой решетки пильного джина // Хлопковая промышленность. – 1983, № 4. С. 17...18.

6. Раджибаев П., Исмаилов А.А. О возможности применения сменных элементов в рабочей зоне колосника джина // Хлопковая промышленность. – 1982, № 4. С. 10...11.

7. Мухаммадиев Д.М., Ахмедов Х.А., Ибрагимов Ф.Х., Мухаммадиев Ш.Д. Колосниковая решетка пильного джина (Патент Uz FAP № 01169). Официальный бюллетень. Агентство по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан, 2017, № 2. С. 50...51. URL: [http://baza.ima.uz/upload/Bulletin/2017/02%20\(190\)%2028-02-2017/bul2-2017.pdf](http://baza.ima.uz/upload/Bulletin/2017/02%20(190)%2028-02-2017/bul2-2017.pdf) (дата обращения 14 мая 2020).

8. Мухаммадиев Д.М., Ахмедов Х.А., Ибрагимов Ф.Х. Исследования новой конструкции стального колосника пильного джина // Проблемы механики. – 2013, № 3-4. С. 131...135.

9. Мухаммадиев Д.М., Ахмедов Х.А. Исследование крепления колосников к брусу и соединения вставка–винт–колосник // Проблемы механики. – 2017, № 4. С. 78...80.

10. Мухаммадиев Д.М., Ахмедов Х.А., Ибрагимов Ф.Х. Исследование движения семян по поверхности колосниковой решетки // Проблемы механики. – 2017, № 4. С. 73...75.

11. Daniel F. Albus, Russell B. Williams. Cotton gin rib. United States Patent. US005979018A (1999) URL: <https://patentimages.storage.googleapis.com/cd/67/b5/b92cac4af62191/US5979018.pdf> (дата обращения 14 мая 2020).

12. Студопедия. Методика и граничные условия при расчете силовых механизмов (2018) URL: https://studopedia.ru/19_322552_metodika-i-granichnie-usloviya-pri-raschete-silovih-mehanizmov.html (дата обращения 28 марта 2020).

13. Ануриев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. – М.: Машиностроение, 2001. Т.2.

14. Студопедия. Силы, необходимые для закрепления самотормозящего клинового механизма (2018) URL: https://studopedia.ru/19_264384_sili-neobhodimie-dlya-raskrepleniya-samotormozyashchego

klinovogo-mehanizma. html (дата обращения 28 марта 2020).

15. Феодосьев В.И. Сопrotивление материалов. – М.: Наука, 1986.

REFERENCES

1. Makhkamov R.G., Agzamov M. Vybor parametrov zakalki dzhinnykh linternykh kolosnikov // Izv. vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti. – 2006, № 2. S. 101...104.

2. Ismailov A.A., Makhkamov R.G., Ibragimov A.S., Agzamov M. Issledovanie iznosa razlichnykh tipov kolosnikov // Problemy tekstilya. – 2005, №3. S. 20...23.

3. Kotov D.A., Tyutin P.N., Melamedov R.Yu. O kachestve izgotovleniya dzhinnykh kolosnikov // Khlopkovaya promyshlennost'. – 1971, № 3. S. 15...18.

4. Tyutin P.N., Melamedov R.Yu. Vzaimozamenyaemost' konstruktivnykh elementov kolosnikovoy reshetki pil'nogo dzhina // Khlopkovaya promyshlennost'. – 1971, № 4. S. 25...29.

5. Radzhibayev P., Makhkamov R.G. Povyshenie dolgovechnosti i nadezhnosti kolosnikovoy reshetki pil'nogo dzhina // Khlopkovaya promyshlennost'. – 1983, № 4. S. 17...18.

6. Radzhibayev P., Ismoilov A.A. O vozmozhnosti primeneniya smennykh elementov v rabochey zone kolosnika dzhina // Khlopkovaya promyshlennost'. – 1982, № 4. S. 10...11.

7. Mukhammadiev D.M., Akhmedov Kh.A., Ibragimov F.Kh., Mukhammadiev Sh.D. Kolosnikovaya reshetka pil'nogo dzhina (Patent Uz FAP № 01169). Ofitsial'nyy byulleten'. Agentstvo po intellektual'noy sobstvennosti Respubliki Uzbekistan, 2017, № 2. S. 50...51. URL: [http://baza.ima.uz/upload/Bulletin/2017/02%20\(190\)%2028-02-2017/bul2-2017.pdf](http://baza.ima.uz/upload/Bulletin/2017/02%20(190)%2028-02-2017/bul2-2017.pdf) (data obrashcheniya 14 maya 2020).

8. Mukhammadiev D.M., Akhmedov Kh.A., Ibragimov F.Kh. Issledovaniya novoy konstruktсии stal'nogo kolosnika pil'nogo dzhina // Problemy mekhaniki. – 2013, № 3-4. S. 131...135.

9. Mukhammadiev D.M., Akhmedov Kh.A. Issledovanie krepleniya kolosnikov k brusu i soedineniya vstavka–vint–kolosnik // Problemy mekhaniki. – 2017, № 4. S. 78...80.

10. Mukhammadiev D.M., Akhmedov Kh.A., Ibragimov F.Kh. Issledovanie dvizheniya semyan po pov-erkhnosti kolosnikovoy reshetki // Problemy mekhaniki. – 2017, № 4. S. 73...75.

11. Daniel F. Albus, Russell B. Williams. Cotton gin rib. United States Patent. US005979018A (1999) URL: <https://patentimages.storage.googleapis.com/cd/67/b5/b92cac4af62191/US5979018.pdf> (data obrashcheniya 14 maya 2020).

12. Studopediya. Metodika i granichnye usloviya pri raschete silovykh mekhanizmov (2018) URL: https://studopedia.ru/19_322552_metodika-i-granichnie-usloviya-pri-raschete-silovih-mekhanizmov.html (data obrashcheniya 28 marta 2020).

13. Anur'ev V.I. Spravochnik konstruktora-mashinostroitel'ya. – М.: Mashinostroenie, 2001. Т.2.

14. Studopediya. Sily, neobkhodimye dlya raskrepleniya samotormozyashchego klinovogo mekhanizma (2018) URL: https://studopedia.ru/19_264384_sili-neobhodimie-dlya-raskrepleniya-samotormozyashchego-klinovogo-mekhanizma.html (data obrashcheniya 28 marta 2020).

15. Feodos'ev V.I. Soprotivlenie materialov. – М.: Nauka, 1986.

Рекомендована заседанием семинара лаборатории «Теория механизмов и машин» Института механики и сейсмостойкости сооружений им. М.Т. Уразбаева Академии наук Республики Узбекистан. Поступила 16.01.20.