

УДК (УДК) 621.867.61

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДЛИНЫ НАКЛАДКИ НА СКОРОСТЬ ДВИЖЕНИЯ
ПАЛЛЕТЫ ПО ЦЕНТРОБЕЖНОМУ ФРИКЦИОННОМУ РОЛИКУTHE INFLUENCE OF THE LENGTH OF THE LINING ON THE SPEED OF
MOVEMENT OF THE PALLET ON THE CENTRIFUGAL FRICTION ROLLERСафронов Е.В., Носко А.Л., Балашова А.И.
Safronov E.V., Nosko A.L., Balashova A.I.Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (Москва, Россия)
Bauman Moscow State Technical University (Moscow, Russian Federation)

Аннотация. Одним из современных решений по системам хранения высокой плотности для паллет является гравитационный стеллаж. Высокая стоимость гравитационных стеллажей связана с необходимостью применения устройств безопасности, таких как тормозные ролики. В 95% случаев в качестве тормозного ролика используется центробежный фрикционный ролик. В статье проанализирована существующая методика расчета скорости движения паллет по центробежному фрикционному ролику гравитационного стеллажа для паллет, одним из недостатков которой является отсутствие учета длины фрикционной накладки. При этом в действительности контакт фрикционной накладки и обечайки ролика происходит по дуге, которая в процессе эксплуатации достигает полной длины накладки. Предложена методика расчета скорости движения паллеты по центробежному фрикционному ролику, а также получена расчетная формула, позволяющая учитывать равномерное распределение силы нормального давления по длине накладки. Представлены результаты сравнительного расчета, которые показали, что скорость движения паллеты при учете длины накладки ниже значений, полученные без ее учета. Установлено, что при длине накладки до 70 мм её можно не учитывать в расчетах, используя более простую формулу, а при длине накладки более 70 мм - рекомендуется использовать полученную в работе расчетную формулу.

Ключевые слова: гравитационный стеллаж, тормозной ролик, центробежный тормоз, фрикционная накладка, паллета.

Дата принятия к публикации: 19.10.2020
Дата публикации: 25.12.2020

Сведения об авторах:

Сафронов Евгений Викторович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Подъемно-транспортные системы», ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (МГТУ им. Н.Э. Баумана),
e-mail: gen-s@mail.ru.

Abstract. Pallet flow rack is one of the high-density storage systems. One of the main safety elements of the systems is a brake roller. Centrifugal frictional brake is the widely used type of the brake rollers, which used as speed governor for the pallet. The known method of calculation of the pallet speed on the flow rack does not take into account the length of the friction lining. In reality, the contact of the friction lining and the roller shell occurs in an arc that reaches the full length of the lining during operation. The method of calculating the speed of movement of the pallet on a centrifugal friction roller is given, and a calculation formula is obtained that allows taking into account the uniform distribution of the force of the normal pressure along the length of the lining. The results of a comparative calculation are presented, which showed that the speed of the pallet movement when taking into account the length of the lining is lower than the values obtained without taking it into account. It is found that if the lining length is up to 70 mm, it can be ignored in the calculations using a simpler formula, and if the lining length is more than 70 mm, it is recommended to use the calculation formula obtained in the work

Keywords: flow rack, brake roller, centrifugal brake, friction lining, pallet.

Date of acceptance for publication: 19.10.2020
Date of publication: 25.12.2020

Authors' information:

Evgeniy V. Safronov – Candidate Technical Sciences, Assistant of the Department “Lifting and Transport Systems” at Bauman Moscow State Technical University, e-mail: gen-s@mail.ru.

Носко Андрей Леонидович – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Подъемно-транспортные системы», ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (МГТУ им. Н.Э. Баумана),
e-mail: dr.nosko@mail.ru.

Балашова Алина Игоревна – магистрант, ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (МГТУ им. Н.Э. Баумана), e-mail: balashovaai@mail.ru.

Andrey L. Nosko – Doctor Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department “Lifting and Transport Systems” at Bauman Moscow State Technical University, e-mail: dr.nosko@mail.ru.

Alina I. Balashova – graduate student at Bauman Moscow State Technical University,
e-mail: balashovaai@mail.ru.

1. Введение

Гравитационные стеллажи представляют собой рамные конструкции [1], на которых установлены гравитационные роликовые конвейеры. Пакетированный груз или паллета легко продвигается из зоны загрузки к зоне выгрузки, двигаясь под действием силы тяжести, не требуя дополнительных усилий или расхода электроэнергии.

Такой тип стеллажей имеет целый ряд преимуществ, таких как [2, 3]:

- уменьшение количества обслуживающего персонала и пробега вилочных погрузчиков;
- увеличение плотности хранения;
- сокращение потребления электроэнергии;
- обеспечение высокой производительности отгрузки.

Однако недостатками гравитационных роликовых конвейеров таких стеллажей являются:

- высокая стоимость;
- особые требования к форме паллет и коробок;
- сложности при проведении инвентаризации на складе.

Высокая стоимость гравитационных стеллажей связана с необходимостью применения устройств безопасности, таких как устройство остановки и разделения паллет и тормозные ролики, работающих как система [4]. Анализ, проведенный в работе [5], показал, что в более чем 95% случаев в качестве тормозных роликов применяются центробежные фрикционные ролики.

Существующая методика расчета центробежных фрикционных роликов [6, 7], расчетная схема которой показана на рис. 1, предназначена для определения скорости установившегося движения паллеты по центробежному фрикционному ролику, которая не должна превышать допустимых значений. Подробно расчет допустимых скоростей из условия работоспособности упора устройства остановки и разделения паллет гравитационного роликового конвейера приведен в [4, 8].

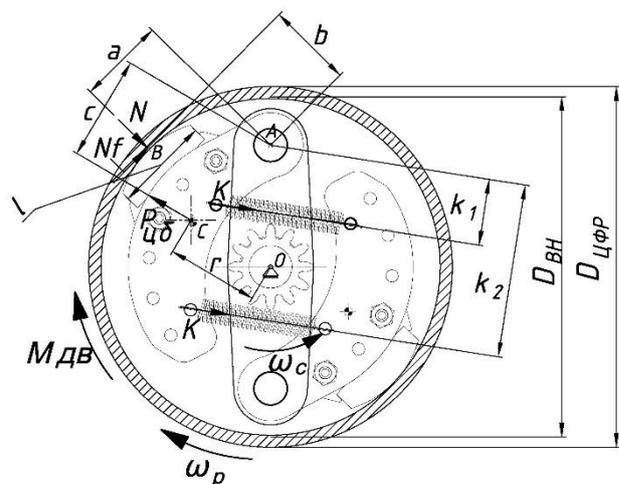


Рис. 1. Расчетная схема центробежного фрикционного ролика

Одним из недостатков предложенной методики расчета центробежного фрикционного ролика является то, что сила трения N_f между фрикционной накладкой центробежного тормоза и обечайкой, а также сила нормального давления N приложены по линии контакта B (центр фрикционной накладки) поперек накладки. Такой подход не учитывает длину l фрикционной накладки центробежного тормоза (рис. 1), при этом в дейст-

вительности контакт по линии B имеет место только в начале эксплуатации центробежного фрикционного ролика, когда его фрикционная накладка не полностью притерта к обечайке.

Таким образом, целью работы является исследование влияния длины фрикционной накладки на скорость движения паллет по центробежному фрикционному ролику гравитационного роликового конвейера для паллет.

2. Особенности позиционирования фрикционной накладки

Установка фрикционной накладки на тормозной колодке определяется углом установки β , при этом в процессе эксплуатации центробежного фрикционного ролика и износа накладки контактная площадь увеличивается, что приводит к увеличению зоны контакта, определяемой углами контакта β_1 и β_2 . В процессе длительной эксплуатации зона контакта увеличивается до полной площади фрикционной накладки и определяется углами контакта β_1^{min} и β_2^{max} (рис. 2).

При этом дуга контакта l_K может быть определена как (рис 2, а):

$$l_K = \frac{D_{BH}}{2} (\beta_2 - \beta_1), \quad (1)$$

где D_{BH} – внутренний диаметр обечайки центробежного фрикционного ролика.

При условии полной площади фрикционного контакта (рис 2, б):

$$l_K = l_H = \frac{D_{BH}}{2} (\beta_2^{max} - \beta_1^{min}),$$

где l_H – длина дуги накладки.

Длину накладки можно определить по формуле

$$l = D_{BH} \sin \left(\frac{\beta_2^{max} - \beta_1^{min}}{2} \right).$$

С учетом допущения о симметричности углов контакта β_1 и β_2 относительно угла установки β , а также с учетом (1):

$$\begin{cases} \beta_1 = \beta - \frac{\beta_2 - \beta_1}{2} = \beta - \frac{l_K}{D_{BH}} \\ \beta_2 = \beta + \frac{\beta_2 - \beta_1}{2} = \beta + \frac{l_K}{D_{BH}} \end{cases} \quad (2)$$

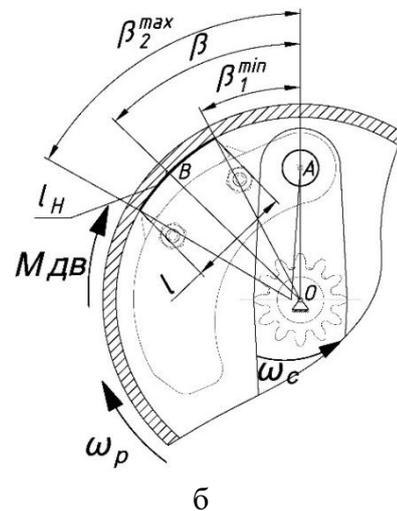
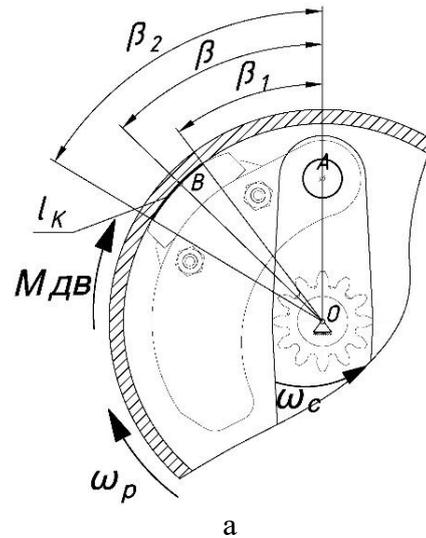


Рис. 2. Углы контакта накладки центробежного фрикционного ролика:

а – при неполной площади контакта,
 б – при полной площади контакта

Так как для анализа учета длины фрикционной накладки в расчетах нет разницы, рассматривать длину l_H дуги накладки или длину l самой накладки, то далее в работе под длиной фрикционной накладки понимается длина дуги накладки.

3. Скорость движения паллет по центробежному фрикционному ролику с учетом длины фрикционной накладки

Чтобы определить зависимость скорости движения паллет с учетом длины фрикционной накладки, необходимо знать закон распределения удельных давлений по длине накладки. Как известно из [9, 10] удельное дав-

ление распределено неравномерно по длине накладки. Характер распределения является синусоидальной функцией и пропорционально деформации накладки в процессе ее прижатия. Однако, как показано в работе [9], уточнение при учете неравномерности распределения удельных давлений не превышает 12% по сравнению с равномерным распределением. При этом, как показывают данные, приведенные в работах [10, 11], коэффициент трения для применяемых в центробежных фрикционных роликах материа-

лов изменяется в более широких пределах (до 20% и более). Таким образом, в расчетах скорости движения паллеты по центробежному фрикционному ролику, будем считать, что удельное давление, а значит и сила нормального давления, распределено равномерно по длине фрикционной накладки.

Расчетная схему центробежного фрикционного ролика с равномерным распределением силы N нормального давления по дуге контакта представлена на рис. 3.

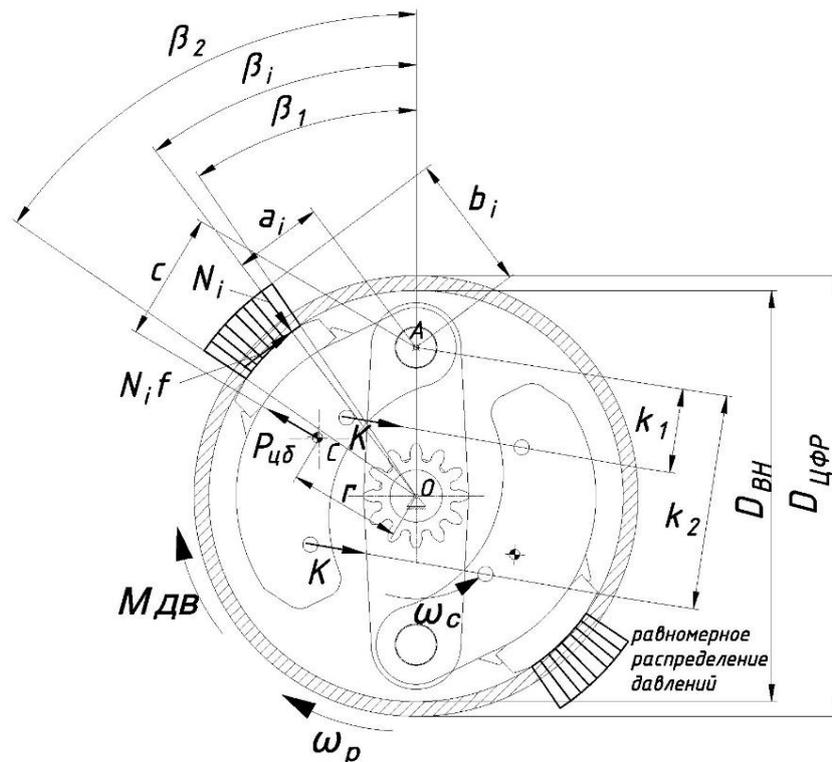


Рис.3. Расчетная схема центробежного фрикционного ролика с равномерным распределением силы N нормального давления (пружины не показаны) по дуге контакта

Уравнение равновесия сил, действующих на тормозную колодку:

$$P_{цб}c + \sum_i N_i f b_i - \sum_i N_i a_i - K(k_1 + k_2) = 0,$$

где $P_{цб}$ – центробежная сила, действующая на тормозную колодку; c – плечо центробежной силы; f – коэффициент трения; N_i – значение силы N в i -ой точке фрикционной накладки; a_i, b_i – значение плеч сил трения $N_i f$ и нормального давления N_i ; K – сила упругости размыкающей пружины; k_1, k_2 – плечи действия силы K .

Из геометрических соображений плечи a_i, b_i :

$$\begin{cases} a_i = l_0 \sin \beta_i \\ b_i = \frac{D_{вн}}{2} - l_0 \cos \beta_i' \end{cases}$$

где l_0 – расстояние от оси вращения центробежного фрикционного ролика до оси вращения тормозной колодки.

При переходе к интегралу учитываем, что N_i определено на углах контакта от β_1 до β_2 , при этом:

$$dN = \frac{N}{l_K} dl_K = \frac{ND_{BH}}{2l_K} d\beta.$$

Тогда уравнение равновесия сил, действующих на тормозную колодку, примет вид:

$$P_{ЦБ}c + \int_{\beta_1}^{\beta_2} \frac{ND_{BH}}{2l_K} f \left(\frac{D_{BH}}{2} - l_0 \cos \beta \right) d\beta - \int_{\beta_1}^{\beta_2} \frac{ND_{BH}}{2l_K} l_0 \sin \beta d\beta - K(k_1 + k_2) = 0$$

Рассмотрим каждый интеграл отдельно:

$$\int_{\beta_1}^{\beta_2} \frac{ND_{BH}}{2l_K} f \left(\frac{D_{BH}}{2} - l_0 \cos \beta \right) d\beta = \frac{ND_{BH}}{2l_K} f \left[\frac{D_{BH}}{2} (\beta_2 - \beta_1) - l_0 (\sin \beta_2 - \sin \beta_1) \right].$$

$$\int_{\beta_1}^{\beta_2} \frac{ND_{BH}}{2l_K} l_0 \sin \beta d\beta = -\frac{ND_{BH}}{2l_K} l_0 (\cos \beta_2 - \cos \beta_1).$$

С учетом преобразований и выражений (1) и (2):

$$\sin \beta_2 - \sin \beta_1 = 2 \sin \frac{\beta_2 + \beta_1}{2} \cos \frac{\beta_2 - \beta_1}{2} = 2 \sin \frac{l_K}{D_{BH}} \cos \beta$$

$$\cos \beta_2 - \cos \beta_1 = -2 \sin \frac{\beta_2 + \beta_1}{2} \sin \frac{\beta_2 - \beta_1}{2} = -2 \sin \frac{l_K}{D_{BH}} \sin \beta$$

Тогда выражения интегралов можно преобразовать как:

$$\int_{\beta_1}^{\beta_2} \frac{ND_{BH}}{2l_K} f \left(\frac{D_{BH}}{2} - l_0 \cos \beta \right) d\beta =$$

$$V = \frac{D_{ЦФР}}{2u} \sqrt{\frac{1}{rcm_r} \left\{ N \left[\frac{D_{BH}}{l_K} \sin \frac{l_K}{D_{BH}} (l_0 \sin \beta + f l_0 \cos \beta) - f \frac{D_{BH}}{2} \right] + K(k_1 + k_2) \right\}}, \quad (6)$$

где сила N нормального давления может быть найдена по формуле:

$$N = \frac{D_{ЦФР} M g (\tan \alpha - w)}{i_K D_{BH} f (1 + u \eta_{ЦФР})}, \quad (7)$$

где $D_{ЦФР}$ – диаметр обечайки центробежного фрикционного ролика; M – масса тормозной колодки; $\tan \alpha$ – уклон роликового полотна; w – приведенный коэффициент сопротивления передвижению паллеты по роликовому полотну гравитационного роликового кон-

$$= N f \left(\frac{D_{BH}}{2} - \frac{D_{BH} l_0}{l_K} \sin \frac{l_K}{D_{BH}} \cos \beta \right),$$

$$\int_{\beta_1}^{\beta_2} \frac{ND_{BH}}{2l_K} l_0 \sin \beta d\beta = N \frac{D_{BH} l_0}{l_K} \sin \frac{l_K}{D_{BH}} \sin \beta.$$

Тогда уравнение равновесия сил, действующих на тормозную колодку, примет вид:

$$P_{ЦБ}c + N f \left(\frac{D_{BH}}{2} - \frac{D_{BH} l_0}{l_K} \sin \frac{l_K}{D_{BH}} \cos \beta \right) - N \frac{D_{BH} l_0}{l_K} \sin \frac{l_K}{D_{BH}} \sin \beta - K(k_1 + k_2) = 0.$$

С учетом преобразований получим:

$$P_{ЦБ}c - N \left[\frac{D_{BH}}{l_K} \sin \frac{l_K}{D_{BH}} (l_0 \sin \beta + f l_0 \cos \beta) - f \frac{D_{BH}}{2} - K k_1 + k_2 \right] = 0. \quad (3)$$

Центробежная сила в уравнении (4) может быть найдена по формуле:

$$P_{ЦБ} = \frac{m_r \pi^2 n_B^2 r}{30^2}, \quad (4)$$

где n_B – частота вращения ступицы центробежного тормоза, r – радиус действия центробежной силы.

Частота вращения ступицы центробежного тормоза при условии отсутствия проскальзывания паллеты по центробежному фрикционному ролику равна:

$$n_B = \frac{60uV}{\pi D_{ЦФР}}, \quad (5)$$

где V – скорость движения паллеты по центробежному фрикционному ролику.

Тогда из уравнения равновесия (3) с учетом выражений (4) и (5) получим, что скорость движения паллеты по центробежному фрикционному ролику с учетом длины фрикционной накладке:

вейера; i_K – количество тормозных колодок; u – передаточное отношение мультипликатора; $\eta_{ЦФР}$ – коэффициент полезного действия центробежного фрикционного ролика.

4. Результаты и их анализ

Проанализируем полученную зависимость (6) скорости движения паллеты по центробежному фрикционному ролику с

учетом длины фрикционной накладки и сравним с методикой расчета, рассмотренной в [6, 7].

Исходные данные для расчета скорости движения паллеты по центробежному фрикционному ролику представлены в табл. 1.

Таблица 1
Исходные данные для расчета скорости движения паллеты по центробежному фрикционному ролику

Параметр центробежного фрикционного ролика	Значение	Единица измерения
Масса паллеты M	300-1500	кг
Диаметр обечайки центробежного фрикционного ролика $D_{\text{ЦФР}}$	0,089	м
Передаточное отношение мультипликатора u	24	-
Внутренний диаметр обечайки центробежного фрикционного ролика $D_{\text{ВН}}$	0,083	м
Радиус действия центробежной силы r	0,0226	м
Плечо центробежной силы s	0,0258	м
Масса тормозной колодки $m_{\text{Г}}$	0,04	кг
Количество тормозных колодок $i_{\text{К}}$	2	-
Приведенный коэффициент сопротивления передвижению паллеты по роликовому полотну гравитационного роликового конвейера w	0,02	-
Уклон роликового полотна $\tan \alpha$	0,04	-
Коэффициент полезного действия центробежного фрикционного ролика $\eta_{\text{ЦФР}}$	0,75	-
Коэффициент трения f	0,44	-
Длина накладки l	0,023	м
Расстояние от оси вращения центробежного фрикционного ролика до оси вращения тормозной колодки l_0	0,03	м
Сила упругости размыкающей пружины K	3,4	Н
Плечо первой размыкающей пружины k_1	0,016	м
Плечо второй размыкающей пружины k_2	0,042	м

Результаты сравнения методик расчета без учета и с учетом длины фрикционной накладки ($l_{\text{Н}}=50$ мм) при угле установки фрикционной накладки $\beta=106^\circ$ представлены на рис. 4.

Расчеты показывают, что для всего диапазона масс паллет расчетные значения скорости движения паллеты по центробежному фрикционному ролику при учете длины накладки при угле ее $\beta=106^\circ$ меньше, чем без учета длины накладки, полученные в [6, 7].

В процессе износа фрикционной накладки дуга контакта элементов пары трения центробежного фрикционного ролика увеличивается. Зависимость скорости движения

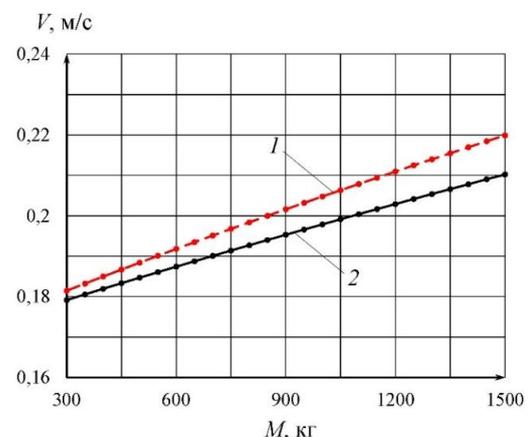


Рис. 4. Скорость движения паллеты по центробежному фрикционному ролику без учета (1) и с учетом (2) длины фрикционной накладки $l_{\text{Н}}=50$ мм

паллеты по центробежному фрикционному ролику от дуги контакта фрикционной на-

Таблица 2

Зависимость скорости движения паллеты по центробежному фрикционному ролику от дуги контакта фрикционной накладки

Масса паллеты M , кг	Значения скорости без учета дуги контакта фрикционной накладки, м/с	Значения скорости с учетом дуги контакта фрикционной накладки, м/с				
		Дуга контакта l_k фрикционной накладки, мм				
		10	30	50	70	90
300	0,1821	0,1826	0,1817	0,1801	0,1777	0,1746
350	0,1838	0,1843	0,1833	0,1815	0,1788	0,1752
400	0,1854	0,1860	0,1849	0,1828	0,1798	0,1758
450	0,1870	0,1876	0,1864	0,1842	0,1808	0,1764
500	0,1885	0,1892	0,1879	0,1855	0,1818	0,1769
550	0,1901	0,1908	0,1895	0,1868	0,1828	0,1775
600	0,1917	0,1925	0,1910	0,1881	0,1838	0,1781
650	0,1932	0,1941	0,1925	0,1894	0,1848	0,1787
700	0,1948	0,1957	0,194	0,1907	0,1857	0,1792
750	0,1963	0,1972	0,1955	0,1920	0,1867	0,1798
800	0,1978	0,1988	0,1969	0,1932	0,1877	0,1804
850	0,1993	0,2003	0,1984	0,1945	0,1887	0,1810
900	0,2008	0,2019	0,1998	0,1958	0,1896	0,1815
950	0,2023	0,2034	0,2013	0,1970	0,1906	0,1821
1000	0,2037	0,2049	0,2027	0,1982	0,1915	0,1826
1050	0,2052	0,2064	0,2041	0,1995	0,1925	0,1832
1100	0,2067	0,2080	0,2055	0,2007	0,1935	0,1838
1150	0,2081	0,2095	0,2070	0,2019	0,1944	0,1843
1200	0,2096	0,2109	0,2084	0,2032	0,1954	0,1849
1250	0,2110	0,2124	0,2097	0,2044	0,1963	0,1855
1300	0,2124	0,2139	0,2111	0,2056	0,1972	0,186
1350	0,2138	0,2153	0,2125	0,2068	0,1982	0,1866
1400	0,2171	0,2167	0,2138	0,2079	0,1991	0,1871
1450	0,2186	0,2182	0,2152	0,2091	0,2000	0,1877
1500	0,2200	0,2196	0,2165	0,2103	0,2009	0,1882

Результаты, приведенные в табл. 2, показывают, что при длине дуги контакта фрикционной накладки менее 70 мм разница в расчетах не превышает 5%. Это позволяет рекомендовать для расчета скорости движения паллеты по центробежному фрикционному ролику формулу, полученную в [6, 7], которая не учитывает длину фрикционной накладки. При длине дуги фрикционной накладки более 70 мм для расчета скорости движения паллеты по центробежному фрик-

ционному ролику предпочтительнее использовать формулу (6), учитывающую длину дуги фрикционной накладки.

4. Заключение

Получена расчетная формула (6) скорости движения паллеты по центробежному фрикционному ролику, учитывающая длину фрикционной накладки, а также проведены

исследования по оценке влияния дуги её контакта.

Проведенные расчеты показывают, что для всего диапазона масс паллет:

- расчетные значения скорости движения паллеты по центробежному фрикционному ролику для угла установки накладки $\beta=106^\circ$ при учете ее длины меньше, чем без ее учета, полученные в [6, 7];
- при длине дуги контакта фрикционной накладкой более 70 мм предпочтительнее

использовать формулу (6) для расчета скорости движения паллеты по центробежному фрикционному ролику;

- при длине дуги контакта фрикционной накладкой менее 70 мм разница в расчетах не превышает 5%, что позволяет не учитывать длину фрикционной накладкой в расчетах скорости движения паллеты по центробежному фрикционному ролику и использовать для ее определения формулу, полученную в [6, 7].

Список литературы

1. Vujanac R., Miloradovic N., Vulovic S. Dynamic storage systems // *International Journal of Engineering*. 2016. Vol. XIV. P. 79-82.

2. Wu S., Wu Ya., Wang Ya., A structured comparison study on storage racks system. *Journal of Residuals Science & Technology*. 2016. Vol. 13. № 8.

3. Sulirova I., Zavodska L., Rakyta M., Pelantova V. State-of-the-art approaches to material transportation, handling and warehousing // 12th International scientific conference of young scientists on sustainable, modern and safe transport, *Procedia Engineering*, Vol. 192, 857-862.

4. Сафронов Е.В., Шарифуллин И.А., Носко А.Л. Устройства безопасной эксплуатации гравитационных роликовых конвейеров паллетного типа. М: Университетская книга, 2018. 72 с.

5. Сафронов Е.В. Анализ конструкций тормозных роликов гравитационных конвейеров для паллет // Наземные транспортно-технологические средства: проектирование, производство, эксплуатация: Материалы I Всеросс. заочн. научно-практ. конф. Чита: Забайкальский государственный университет. 2016. С. 53-62.

6. Сафронов Е.В. Обеспечение безопасности и повышение эффективности работы гравитационного стеллажа для паллет: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.04. М., 2019. 164 с.

7. Носко А. Л., Сафронов Е. В. Методика расчета тормозного ролика центробежного типа применительно к гравитационным роликовым конвейерам для паллет // *Механизация строительства*. 2017. Т. 78, №

References

1. Vujanac R., Miloradovic N., Vulovic S. Dynamic storage systems. *International Journal of Engineering*, 2016, Vol. XIV, pp. 79-82.

2. Wu S., Wu Ya., Wang Ya. A structured comparison study on storage racks system. *Journal of Residuals Science & Technology*, 2016, Vol. 13, No. 8.

3. Sulirova I., Zavodska L., Rakyta M., Pelantova V., State-of-the-art approaches to material transportation, handling and warehousing. *12th International scientific conference of young scientists on sustainable, modern and safe transport. Procedia Engineering*, Vol. 192, pp. 857-862

4. Safronov E.V., Sharifullin I.A., Nosko A.L. *Ustroystva bezopasnoy ekspluatatsii gravitatsionnykh rolikovykh konveyerov pаллетnogo tipa* [Devices for safe operation of gravity roller conveyors of pallet type]. Moscow, Universitetskaya kniga, 2018. 72 p. (In Russian)

5. Safronov E.V. Analysis of designs of brake rollers gravity conveyors for pallets. *Nazemnye transportno-tekhnologicheskie sredstva: proektirovanie, proizvodstvo, ekspluatatsiya: Materialy I Vserossiyskoy zaochnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Ground transport and technological means: design, production, operation: Materials of the I all-Russian correspondence scientific and practical conference]. Chita. Zabaykal'skiy gosudarstvennyy universitet. 2016. P. 53-62. (In Russian)

6. Safronov E.V. Ensuring safety and increasing the efficiency of the gravity pallet rack. Diss. Cand. Sci.(Engineering). Moscow,

6. С. 26-31.

8. Safronov E., Nosko A. A method to determine allowable speed for a unit load in a pallet flow rack // *Acta Mechanica et Automatica*. 2019. Vol.13. № 2. P. 80-85. DOI: <https://doi.org/10.2478/ama-2019-0011>

9. Поляков В.С., Барбаш И.Д. Муфты. Конструкции и расчет. . Л.: Машиностроение, 1973. 336 с.

10. Александров М.П. Тормоза подъемно-транспортных машин. М.: Mashgiz, 1953. 228 с.

11. Сафронов Е.В., Носко А.Л. Оценка неустойчивости коэффициента трения вальцованных ФПМ при низких давлениях // *Трибология – Машиностроению: Труды XII Международной научно-технической конференции, посвященной 80-летию ИМАШ РАН*. Ижевск: Ижевский институт компьютерных исследований. 2018. С. 459-46.

‡ 2019. 164 P. (In Russian)

‡ 7. Nosko A.L., Safronov E.V. Calculation method for centrifugal type brake roller applied to gravity roller conveyors for pallets. *Mekhanizatsiya stroitelstva*, 2017, Vol. 78, No. 6, pp. 26-31. (In Russian)

‡ 8. Safronov E., Nosko A. A method to determine allowable speed for a unit load in a pallet flow rack. *Acta Mechanica et Automatica*, 2019, Vol.13, No.2, pp 80-85. DOI: <https://doi.org/10.2478/ama-2019-0011>

‡ 9, Polyakov V.S., Barbash I.D. *Mufty. Konstruktsii i raschet*. [Couplings. Constructions and calculation]. Leningrad, Mashinostroyeniye, 1973. 336 P. (In Russian)

‡ 10. Aleksandrov M.P. *Tormoza pod'yemno-transportnykh mashin* [Brakes of hoisting machines]. Moscow, Mashgiz. 1953. 228 p. (In Russian)

‡ 11. Safronov E.V., Nosko A.L. Otsenka nestabil'nosti koeffitsiyenta treniya valtsovannykh FPM pri nizkikh davleniyakh. *Tribologiya – Mashinostroyeniye: Trudy XII Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, posvyashchennoy 80-letiyu IMASH*. Izhevsk, Izhevsk Institute for Computer Research, 2018, pp. 459-461. (In Russian)