

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА НАГРУЗОЧНОЙ СПОСОБНОСТИ РОЛИКОВ ГРАВИТАЦИОННЫХ КОНВЕЙЕРОВ ДЛЯ ПАЛЕТ

К.Т.Н. Сафронов Е.В., д.т.н. Носко А.Л.

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия
gen-s@mail.ru

Приведены основные подходы к расчетам нагрузочной способности несущих роликов гравитационных конвейеров. Показано, что на практике в конструкциях современных неприводных конвейеров для палет приоритетом при выборе шага установки несущих роликов является стабильность и устойчивое движение груза, а не минимизация количества роликов. В связи с актуальной задачей снижения металлоемкости и стоимости гравитационных роликовых конвейеров для палет целью работы является экспериментальное определение нагрузочной способности роликов гравитационных конвейеров для палет с пластиковыми корпусами подшипников. Экспериментальные исследования проводились в лаборатории кафедры прикладной механики на универсальной испытательной машине Galdabini Quasar 50 при использовании специальной роликовой опоры для двух конструкций роликов – со сплошной осью и на полуосях. Результаты испытаний показали, что жесткость ролика со сплошной осью в диапазоне нагрузок до 670 Н составляет порядка 1358,4 Н/мм, а в диапазоне нагрузок от 670 до 1500 Н – 2229,9 Н/мм. Жесткость ролика на полуосях во всем диапазоне нагрузок составляет 2048,0 Н/мм. Анализ полученных результатов показал, что для нагрузок свыше 670 Н использование оси незначительно увеличивает коэффициент жесткости, а в диапазоне нагрузок до 670 Н, наоборот, снижает. С целью снижения себестоимости НР с пластиковыми корпусами подшипников целесообразно использование конструкции на полуосях.

Ключевые слова: гравитационный роликовый конвейер, несущий ролик, испытания на сжатие, деформация, жесткость.

Для цитирования: Сафронов Е.В., Носко А.Л. Экспериментальная оценка нагрузочной способности роликов гравитационных конвейеров для палет // Известия МГТУ «МАМИ». 2020. № 3 (45). С. 59–64. DOI: 10.31992/2074-0530-2020-45-3-59-64.

Введение

Несущие ролики (далее НР) наряду с тормовыми роликами и устройством остановки и разделения палет являются одним из основных элементов гравитационных роликовых конвейеров (далее ГРК) для палет, которые нашли широкое применение в складской интраталогистике как один из типовых модулей, предназначенных для хранения и транспортировки грузов на поддонах [1, 2, 3].

Несущая способность НР определяется нагрузкой на ролик, конструкцией и материалами элементов ролика, а также технологией его изготовления.

Подходы к расчетам нагрузочной способности НР, а также определение шага их расстановки широко освещены в литературе [4, 5]. При этом наибольшее внимание уделяется классическим формулам выбора шага расстановки роликов, который определяется по формуле:

$$t \leq (0,45 - 2,2wK_h) \cdot l_{гр},$$

где w – приведенный коэффициент сопротивления движению груза по роликам, K_h – коэффициент высоты груза, $l_{гр}$ – длина груза.

Коэффициент высоты груза определяет отношение высоты центра тяжести груза к длине груза. На практике для паллет максимальное значение коэффициента $K_h < 1$, что соответствует максимальной высоте паллеты 2400 мм.

При этом в работе [4] отмечается, что упрощенно можно считать для низких грузов при $K_h < 0,2$ шаг $t \leq 0,45l_{гр}$, а при $K_h \approx t \leq (0,35 \dots 0,4) l_{гр}$.

В работе [6] предлагается иной метод определения шага расстановки исходя из допустимого угла перекоса колец подшипников ролика, который для тяжелых грузов является определяющим фактором нагрузочной способности ролика.

При этом приводятся противоречивые данные по шагу расстановки НР. Например, в работе [5] отмечается, что использование более чем 5 роликов под грузом не допускается ввиду повышенной металлоемкости ро-

ликового конвейера, но при этом отмечается, что движение груза при увеличении количества роликов становится более стабильным и устойчивым. Возникает вопрос, какой подход использовать при определении шага установки НР: снижать металлоемкость или увеличивать стабильность движения и устойчивость груза?

В конструкциях современных ГРК для паллет зарубежных производителей (*BITO*, *Interroll* и др.) количество НР колеблется в пределах от 7 до 13, что подтверждает приоритетность стабильности движения и устойчивости груза при выборе шага расстановки НР.

В таком случае нагрузочную способность НР необходимо определять с учетом их количества, при котором груз стабильно катится по роликовому полотну, а с целью уменьшения металлоемкости НР использовать в конструкциях больше легких материалов, таких как пластики, что в настоящее время характерно для всех отраслей машиностроения [7].

Целью данной работы является экспериментальное определение нагрузочной способности НР с пластиковыми корпусами подшипников.

Методы и средства проведения исследований

Конструкция

В ГРК зарубежных производителей с роликами по всей ширине поддона чаще всего используются ролики с диаметрами 50–60 мм и шагом расстановки 75...200 мм. Конструкция ролика может быть выполнена с осью или на полуосях с пластиковыми или штампованными корпусами шариковых подшипников, которые как правило устанавливаются в обечайку ролика и закрепляются методом вальцевания. Конструкции роликов иностранных производителей широко представлены в ката-

логах зарубежных фирм, например, *Rollex* [8], *Interroll* [9] и др.

Необходимо отметить, что существуют отечественные конструкции НР [10, 11], выполненные как правило с использованием или металлических подшипниковых корпусов, или без них. В последнем случае подшипник запрессовывается в обечайку ролика.

Опыт эксплуатации и анализ существующих конструкций ГРК показал, что в настоящее время количество НР, находящихся под деревянным поддоном габаритных размеров 800 x 1200 мм с грузом массой не более 1250 кг, составляет от 7 до 9 шт. В этом случае максимальная средняя нагрузка на ролик (с учетом наличия под каждым поддоном также одного тормозного ролика) не превышает 150 кг.

Экспериментальное оборудование

Экспериментальные исследования нагрузочной способности ролика проводились в лаборатории кафедры прикладной механики МГТУ им. Н. Э. Баумана.

Для исследований использовалась универсальная испытательная машина фирмы *Galdabini* (Италия) серии *Quasar 50* настольного исполнения, позволяющая проводить испытания различных типов материалов на растяжение, сжатие, изгиб, адгезию и т.д., включая полимерные. Общий вид испытательной машины *Quasar 50* представлен на рис. 1, а технические характеристики приведены в таблице 1.

Программное обеспечение *Graphwork* предоставляет полный контроль над вводом, обработкой, управлением и передачей данных через сеть, а также позволяет проводить визуализацию результатов эксперимента, а также вести архив данных. Контролируемыми параметрами в процессе испытаний являются вертикальная нагрузка на ролик и его деформация.

Таблица 1

Технические характеристики испытательной машины *Quasar 50*

Параметр	Значение	Параметр	Значение
Рама	50 кН	Максимальное расстояние между адаптерами	1000 мм
Соответствие стандартам	ASTM E 4, EN-ISO 7500/1	Расстояние между колоннами	410 мм
Разрешение по нагрузке	1/200000	Питание	230 В/50 Гц
Точность перемещения траверсы	0,1 мкм	Мощность	650 Вт
Скорость при максимальной нагрузке	0,0005–500 мм/мин	Масса машины (без оснастки)	255 кг
Скорость холостого хода	500 мм/мин	Размеры (ВхШхГ)	1635x790x780 мм
Общее перемещение траверсы	1000 мм		



Рис. 1. Общий вид испытательной машины *Quasar 50*

Экспериментальные образцы

Для экспериментальной оценки нагрузочной способности НР с пластиковыми корпусами подшипников разработана роликовая опора, общий вид которой представлен на рис. 2.

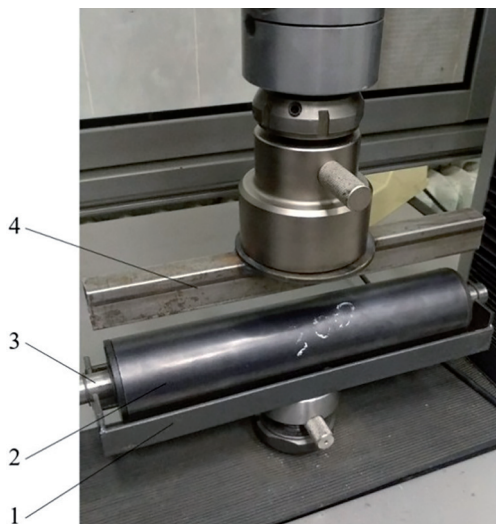


Рис. 2. Общий вид роликовой опоры в сборе:

1 – основание; 2 – ролик; 3 – ось/полуось; 4 – балка

Опора состоит из сварного основания 1, изготовленного из уголков 25Ч25, и полос толщиной 4 мм, испытуемого ролика 2, оси (или полуоси) 3 которого размещаются в специальных V-образных направляющих сварного основания. От осевого смещения в направляющих ось 3 ролика закрепляется стопорными

кольцами. На подвижную балку испытательной машины закреплялась нагружаемая балка 4 из профильной трубы 30Ч20Ч2,0 мм. Таким образом, нагружение ролика при помощи подвижной балки имитировало процесс воздействия нагрузки на несущий ролик ГРК от поддона с грузом. В качестве обечайки использовалась электросварная труба длиной 300 мм, диаметром 60 мм и толщиной 2 мм.

В качестве опытных образцов использовались ролики со сплошной осью и на полуосях (рис. 3). Для изготовления корпусов подшипников использовался ABS-пластик и литьевая машина МЕ-3 [12]. Было изготовлено 20 штук корпусов подшипников при различных режимах литья. Перед проведением испытаний корпус с размещенным в нем подшипником запрессовывался в обечайку ролика.

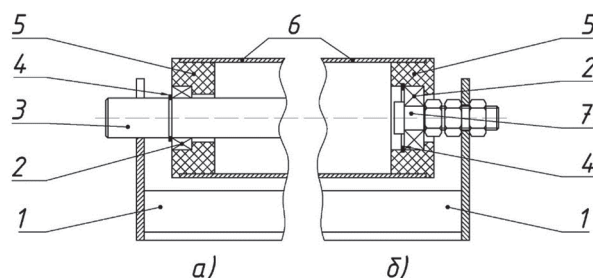


Рис. 3. Опытный образец несущего ролика:

а) со сплошной осью; б) на полуосях; 1 – основание роликовой опоры; 2 – подшипник; 3 – ось; 4 – стопорное кольцо; 5 – корпус подшипника; 6 – обечайка; 7 – полуось

Методика проведения экспериментов

Экспериментальные исследования роликов проводились в два этапа.

Первый этап заключался в определении жесткости испытательной машины *Quasar 50*.

Для этого проводилось многократное нагружение образца с известной жесткостью нагрузкой 2150 Н. В качестве образца использовался чугунный цилиндр диаметром 14 мм и длиной 24,3 мм.

На втором этапе проводились испытания опытных образцов роликов максимальной нагрузкой 1500Н в нескольких режимах: однократное нагружение, многократное нагружение с частотой 20 нагружений в час, многократное нагружение с выдержкой максимальной нагрузки в течение 6 секунд (имитация прохождения паллеты по НР со скоростью 0,2 м/с).

На первом этапе (определение жесткости испытательной машины *Quasar 50*) деформация $\delta_{\text{ич}}$ системы испытательная машина-чугунный образец определяется как:

$$\delta_{\text{ич}} = \delta_{\text{и}} + \delta_{\text{ч}}, \quad (1)$$

где $\delta_{\text{и}}$ – деформация испытательной машины, $\delta_{\text{ч}}$ – деформация чугунного образца.

Согласно закону Гука деформация системы прямо пропорциональна приложенной к ней нагрузке N , т.е.

$$N = k_{\text{ич}} \cdot \delta_{\text{ич}}, \quad (2)$$

где $k_{\text{ич}}$ – жесткость системы испытательная машина-чугунный образец.

С учетом (1) и (2) жесткость $k_{\text{и}}$ испытательной машины может быть получена из уравнения:

$$\frac{1}{k_{\text{и}}} = \frac{1}{k_{\text{ич}}} - \frac{1}{k_{\text{ч}}}, \quad (3)$$

где $k_{\text{ч}}$ – жесткость чугунного образца.

На втором этапе были получены экспериментальные данные жесткости опытных образцов НР со сплошной осью и на полуосях с учетом жесткости испытательной машины.

При нагружении опытных образцов НР деформация системы испытательная машина-НР определяется как:

$$\delta_{\text{ир}} = \delta_{\text{и}} + \delta_{\text{р}},$$

где $\delta_{\text{р}}$ – деформация НР.

По аналогии с выражением (3) и с учетом преобразований получим, что жесткость $k_{\text{р}}$ опытного образца НР может быть определена по формуле:

$$k_{\text{р}} = \frac{k_{\text{и}} \cdot k_{\text{ир}}}{k_{\text{и}} - k_{\text{ир}}}, \quad (4)$$

где $k_{\text{ир}}$ – жесткость системы испытательная машина-несущий ролик.

Результаты исследований и их обсуждение

По результатам нагружения чугунного образца был получен график зависимости деформации системы испытательная машина-чугунный образец $\delta_{\text{ич}}$ от нагрузки N (рис. 4). На графике деформация системы испытательная машина-чугунный образец $\delta_{\text{ич}}$ определяется датчиком положения траверсы в мм.

Полученные экспериментальные данные с достаточной точностью позволяют определить жесткость $k_{\text{ич}}$ системы испытательная

машина-чугунный образец по зависимости, представленной на рис. 4 как угол наклона графика или

$$k_{\text{ич}} = \frac{\Delta N}{\Delta \delta_{\text{ич}}} = \frac{1902 - 238}{0,2967 - 0,2274} = 24018,5 \frac{\text{Н}}{\text{мм}}.$$

Жесткость чугунного образца определяется по формуле:

$$k_{\text{ч}} = \frac{E \cdot A}{l},$$

где $E = 120000$ МПа – модуль упругости первого рода (Юнга) чугуна; A – площадь сечения чугунного образца, мм²; l – длина чугунного образца, мм.

С учетом данных на рис. 4 жесткость чугунного образца составляет:

$$k_{\text{ч}} = \frac{120000 \cdot 3,14 \cdot 14^2}{4 \cdot 24,3} = 760187,9 \frac{\text{Н}}{\text{мм}}.$$

Таким образом, с учетом выражения (3), жесткость испытательной машины:

$$k_{\text{и}} = \frac{k_{\text{ич}} \cdot k_{\text{ч}}}{k_{\text{ч}} - k_{\text{ич}}} = \frac{24018,5 \cdot 760187,9}{760187,9 - 24018,5} = 24802,1 \frac{\text{Н}}{\text{мм}}.$$

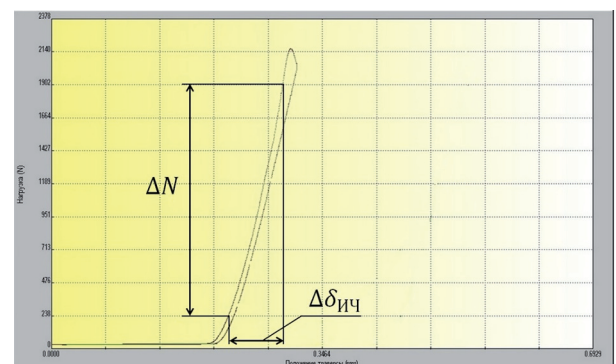
Зависимость деформации системы испытательная машина-НР от нагрузки для разных конструкций НР (с осью и на полуосях) при максимальной нагрузке 1500 Н показан на рис. 5.

Проводя вычисления по аналогии, как показано на рис. 4, получим жесткость системы испытательная машина-НР.

Для НР с осью (кривая 1) можно выделить два участка с разной жесткостью:

– первый (до нагрузки 670 Н) $k_{\text{ир1}} = 1287,9 \frac{\text{Н}}{\text{мм}}$;

– второй (в диапазоне нагрузок от 670 Н до 1500 Н) $k_{\text{ир1}} = 2045,9 \frac{\text{Н}}{\text{мм}}$.



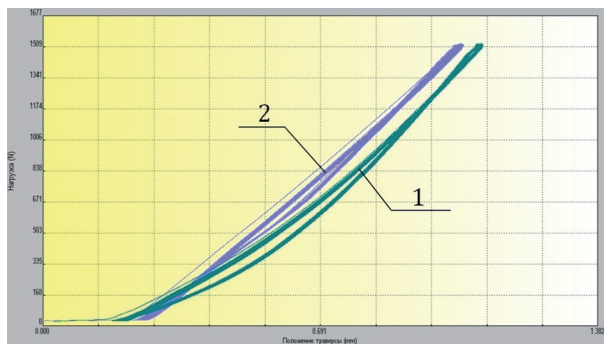


Рис. 5. Зависимость деформации $\delta_{ир}$ системы испытательная машина-НР от нагрузки N :
1 – ролик с осью; 2 – ролик на полуосях

Для НР с полуосями (кривая 2) жесткость можно считать постоянной $k_{ир2} = 1891,8 \frac{Н}{мм}$ на всем диапазоне нагрузок.

С учетом выражения (4), жесткость НР представлена в таблице 2.

Заключение

Проведенные исследования показали, что нагрузочная способность НР с пластиковым корпусами подшипников позволяет рекомендовать их использовать в современных ГРК для палет с нагрузками на ролики до 150 кг.

При этом жесткость ролика со сплошной осью в диапазоне нагрузок до 670 Н составляет порядка 1358,4 Н/мм, а в диапазоне нагрузок от 670 до 1500 Н – 2229,9 Н/мм. Жесткость ролика на полуосях во всем диапазоне нагрузок составляет 2048,0 Н/мм.

Полученные экспериментальные данные жесткости НР различных конструкций – со сплошной осью или на полуосях – показали, что для нагрузок свыше 670 Н использование оси незначительно увеличивает коэффициент жесткости, а в диапазоне нагрузок до 670 Н, наоборот, снижает. Поэтому с целью снижения себестоимости НР с пластиковыми корпусами подшипников целесообразно использование конструкции на полуосях.

Авторы статьи выражают благодарность директору НИИ АПП МГТУ им. Н.Э. Баумана Киселеву И.А. и аспирантам кафедры приклад-

ной механики за предоставленное экспериментальное оборудование и методическую помощь в проведении испытаний.

Литература

1. Носко А., Сафронов Е. Преимущества использования типовых паллетных интралогистических решений при проектировании и эксплуатации складов // Логистика, 2016, № 5, с. 16–21.
2. Eugene Safronov, Andrey Nosko 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.
3. Vujanac R., Miloradovic N., Vulovic S. Dynamic storage systems // ANNALS of Faculty Engineering Hunedoara – International Journal of Engineering. 2016, (2016), Vol. XIV, P. 79–82.
4. Зенков Р.Л., Ивашков И.И., Колобов Л.Н. Машины непрерывного транспорта. М.: Машиностроение, 1987, 431 с.
5. Ивановский К.Е., Раковщик А.Н., Цоглин А.Н. Роликовые и дисковые конвейеры и устройства. М.: Машиностроение, 1973, 216 с.
6. Темиртасов О.Т. Исследование процесса перемещения штучных грузов по гравитационному роликовому конвейеру: диссертация ... кандидата технических наук: 05.05.05. Москва, 1979. 200 с.
7. Носко Е.А., Одиноква И.В., Чеканов А.Ю. Экспериментальная оценка влияния параметров 3d-печати на прочность изделия // Journal of Advanced Research in Technical Science. 2018. № 9–1. С. 35–46.
8. Гравитационные неприводные конвейерные ролики. Производство и каталоги URL: http://syndic.ru/conveyor-rollers/nepprivodnye_gravitacionnye_roliki/ (дата обращения: 04.04.2018)
9. New conveyor roller catalog published by Interroll URL: <https://www.interroll.com/en/company/new-conveyor-roller-catalog/> (дата обращения: 04.04.2018)
10. Ролики неприводные. Конвейермаш URL: <https://conveermash.ru/catalog/roliki-nepprivodnye> (дата обращения: 04.04.2018)
11. ГОСТ 8324-71 Конвейеры роликовые (рольганги) стационарные неприводные общего назначения.

Таблица 2

Жесткость несущих роликов различных конструкций

Жесткость, Н/мм	Диапазон нагрузок	
	до 670 Н	от 670 до 1500Н
С осью k_{p1}	1358,4	2229,9
На полуосях k_{p2}	2048,0	

12. Назаров А.Н., Опарин И.В. Исследование процесса получения деталей машин из термопластов. анализ характеристик изделий // Подъемно-транспортные, строительные, дорожные, путевые машины и робототехнические комплексы. М.: Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 2019. С. 220–223.

References

1. Nosko A., Safronov Ye. Advantages of using typical pallet intralogistic solutions in the design and operation of warehouses. *Logistika*, 2016, No 5, pp. 16–21. (in Russ.).
2. Eugene Safronov, Andrey Nosko 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.
3. Vujanac R., Miloradovic N., Vulovic S. Dynamic storage systems // *ANNALS of Faculty Engineering Hunedoara – International Journal of Engineering*. 2016, (2016), Vol. XIV, pp. 79–82.
4. Zenkov R.L., Ivashkov I.I., Kolobov L.N. *Mashiny nepreryvnogo transporta* [Continuous transport vehicles]. Moscow: Mashinostroyeniye Publ., 1987, 431 p.
5. Ivanovskiy K.E., Rakovshchik A.N., Tsoglin A.N. *Rolikovyye i diskovyye konveyery i ustroystva* [Roller and disc conveyors and devices]. Moscow: Mashinostroyeniye Publ., 1973, 216 p.
6. Temirtasov O.T. *Issledovaniye protsessa peremeshcheniya shtuchnykh грузов po gravitatsionnomu rolikovomu konveyeru*: dissertatsiya ... kandidata tekhnicheskikh nauk [Investigation of the process of moving single goods along a gravitational roller conveyor: Dissertation for Degree of Ph.D. (Engineering)]: 05.05.05. Moscow, 1979. 200 p.
7. Nosko Ye.A., Odinkova I.V., Chekanov A.Yu. Experimental evaluation of the influence of 3D printing parameters on product strength. *Journal of Advanced Research in Technical Science*. 2018. No 9–1, pp. 35–46. (in Russ.).
8. *Gravitatsionnyye neprivodnyye konveyernyye roliki. Proizvodstvo i katalogi* [Gravity non-driven conveyor rollers. Production and catalogs]. URL: http://syndic.ru/conveyor-rollers/neprivodnye_gravitatsionnye_roliki/ (accessed: 04.04.2018)
9. New conveyor roller catalog published by Interroll. URL: <https://www.interroll.com/en/company/new-conveyor-roller-catalog/> (accessed: 04.04.2018)
10. *Roliki neprivodnyye. Konveyermash* [Non-drive rollers. Konveyermash]. URL: <https://conveermash.ru/catalog/roliki-neprivodnye> (accessed: 04.04.2018)
11. *GOST 8324-71 Konveyery rolikovyye (rol'gani) statsionarnyye neprivodnyye obshchego naznacheniya* [Stationary non-driven roller conveyors (roller tables) for general purposes].
12. Nazarov A.N., Oparin I.V. Investigation of the process of obtaining vehicle parts from thermoplastics. Analysis of product characteristics. *Pod'yemno-transportnyye, stroitel'nyye, dorozhnyye, putevyye mashiny i robototekhnicheskiye komplekсы*. Moscow: Natsional'nyy issledovatel'skiy Moskovskiy gosudarstvennyy stroitel'nyy universitet, 2019, pp. 220–223.

EXPERIMENTAL EVALUATION OF THE LOAD CAPACITY OF THE ROLLERS OF GRAVITY CONVEYORS FOR PALLETS

PhD in Engineering **Ye.V. Safronov**, DSc in Engineering **A.L. Nosko**
Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia
gen-s@mail.ru

The main approaches to calculating the load capacity of the carrying rollers of gravity conveyors are presented. It is shown that in practice, in the designs of modern non-driven conveyors for pallets, the priority when choosing the pitch of the carrier rollers is the stability of the movement of the load, rather than minimizing the number of rollers. In connection with the urgent task of reducing the metal consumption and the cost of gravity roller conveyors for pallets, the purpose of the work is to experimentally determine the load capacity of the rollers of gravity conveyors for pallets with plastic bearing housings. The experimental studies were carried out in the laboratory of the Department of Applied Mechanics on a Galdabini Quasar 50 universal testing machine using a special roller support for two roller designs – with a solid axis and on half-axes. The test results showed that the stiffness of a roller with a solid axis in the load range up to 670 N is about 1358.4 N / mm, and in the load range from 670 to 1500 N – 2229.9 N / mm. The rigidity of the roller on the axle shafts in the entire load range is 2048.0 N / mm. The analysis of the obtained results showed that for loads over 670N the use of the axle slightly increases the stiffness coefficient, and, on the contrary, it decreases in the load range up to 670N. In order to reduce the cost of carrying rollers with plastic bearing housings, it is advisable to use a design on semi-axes.

Keywords: gravity roller conveyor, carrier roller, compression test, deformation, stiffness.

Cite as: Safronov Ye.V., Nosko A.L. Experimental evaluation of the load capacity of the rollers of gravity conveyors for pallets. *Izvestiya MG TU «MAMI»*. 2020. No 3 (45), pp. 59–64 (in Russ.). DOI: 10.31992/2074-0530-2020-45-3-59-64.