

УДК 622.647.2:622.023.65

**Монастырский В.Ф.**, д-р техн. наук, профессор,  
**Кирия Р.В.**, канд. техн. наук, ст. научн. сотрудник,  
**Смирнов А.Н.**, канд. техн. наук  
(ИГТМ им. Н.С. Полякова НАН Украины)

## **ВЫБОР ЗНАЧЕНИЙ КОЭФФИЦИЕНТА ДИНАМИЧНОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ГРУЗА С РОЛИКООПОРАМИ КОНВЕЙЕРА**

**Монастирський В.Ф.**, д-р техн. наук, професор,  
**Кірія Р.В.**, канд. техн. наук, ст. наук. співр.,  
**Смірнов А.М.**, канд. техн. наук  
(ІГТМ ім. М.С. Полякова НАН України)

## **ВИБІР ЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ДИНАМІЧНОСТІ ВАНТАЖУ З РОЛИКООПОРАМИ КОНВЕЄРА**

**Monastyrsky V.F.**, D.Sc. (Tech), Professor,  
**Kiriya R.V.**, Ph.D. (Tech), Senior Researcher.  
**Smirnov A.N.**, Ph.D. (Tech)  
(N.S. Polyakov IGTM NAS of Ukraine)

## **CHOOSING OF VALUES FOR COEFFICIENT OF DYNAMIC INTERACTION BETWEEN CARGO AND ROLLER CARRIAGE OF THE BELT CONVEYER**

**Аннотация.** Анализ результатов теоретических исследований ,выполненных в работах Кузнецова Б.А., Смирного В.К., Бондарева В.С, Монастырского В Ф., Коваля А.В., Лисицы Н.И., Демина Г.К. показал, что значения коэффициента динамического взаимодействия насыпного груза с различными конструкциями роликоопор в пункте загрузке и на линейной части ленточного конвейера противоречивы и имеют большой разброс. Это затрудняет выбор их значений для расчета на прочность элементов конвейера. Решить эту задачу возможно путем сопоставления теоретических закономерностей с экспериментальными исследованиями для выбора уточненных расчетных значений коэффициентов динамичности, адекватных реальным условиям.

В настоящей работе представлены результаты лабораторных и промышленных исследований выполненных с целью выявления значений коэффициентов динамичности взаимодействия единичных крупных кусков и потока насыпного груза с роликоопорами разной конструкции. Определены экспериментально значения коэффициентов динамичности при взаимодействии с жесткими, шарнирными, подпружиненными и податливыми роликоопорами, на основании которых было выполнено сравнение полученных результатов с теоретическими закономерностями различных работ. Установлено, что значение коэффициентов динамичности необходимо выбирать на стадии проектирования ленточных конвейеров в зависимости от места установки роликоопор и их конструкции.

**Ключевые слова:** коэффициент динамичности, конвейер, насыпной груз, крупные куски, шарнирные, подпружиненные, податливые, жесткие роликоопоры.

**Введение.** На горных предприятиях Украины и стран СНГ эксплуатируются ленточные конвейеры различной конструкции. Условия их эксплуатации существенно различаются в зависимости от горнотехнических и климатических условий.

Из-за несоответствия производственного качества конвейеров потребителю в промышленных условиях наблюдаются частые отказы элементов конвейеров, что приводит к снижению их производительности и эффективности применения.

Основными причинами выхода из строя элементов конвейера являются износ деталей и потеря их прочности при значительных динамических нагрузках, которые характеризуются коэффициентом динамического взаимодействия груза с роlikоопорами.

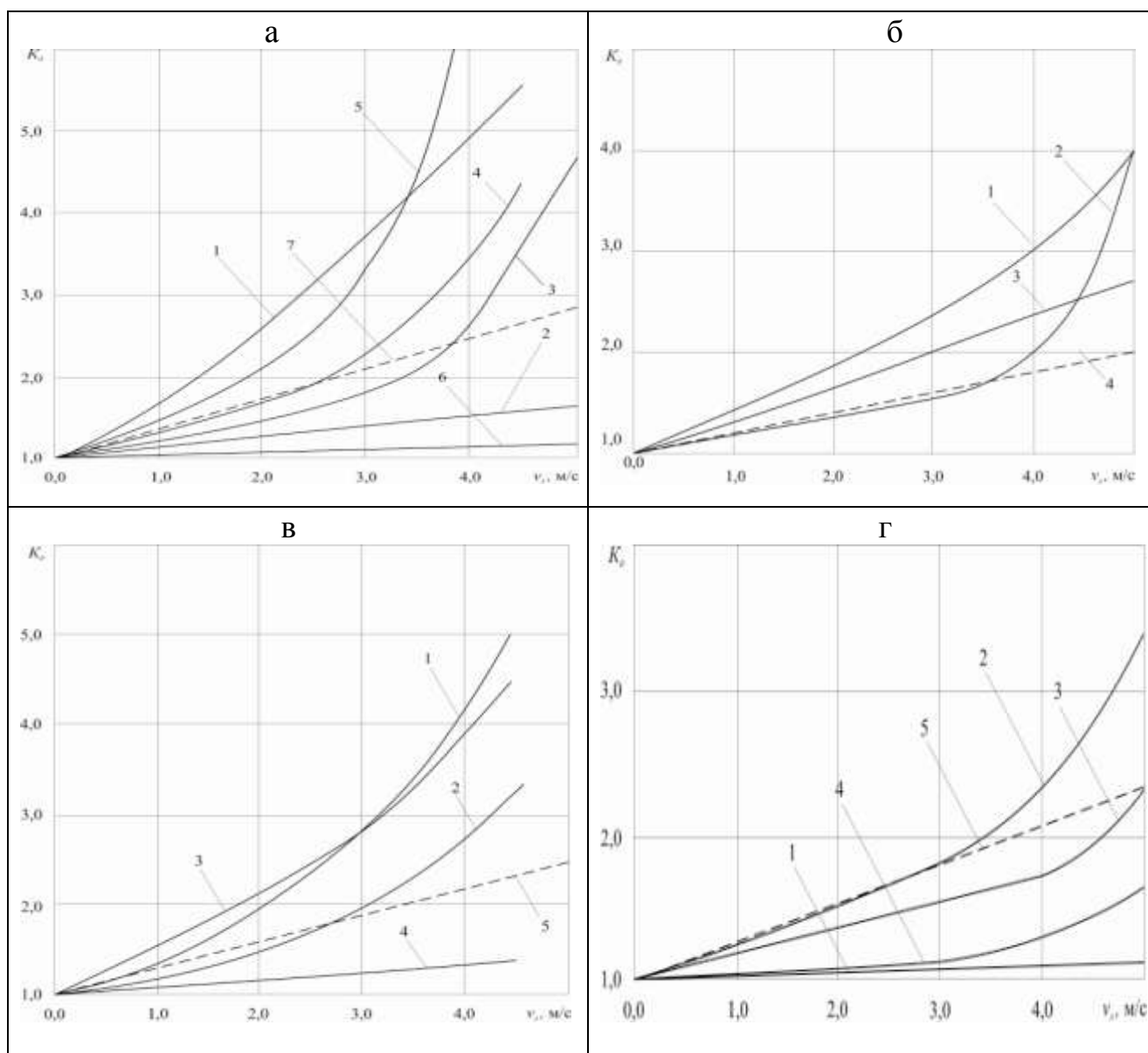
Выбор значений коэффициента динамичности на стадии проектирования ленточных конвейеров во многом зависит от конструкции элементов конвейера (например, жесткие, шарнирные, подпружиненные и податливые роlikоопоры), его параметров (скорости, натяжения и ширины ленты), характеристик грузопотока [Монастырский В.Ф., 1991] и является актуальной задачей.

#### **Анализ работ по теме исследований.**

В научно-исследовательской и научно-технической литературе вопросы взаимодействия различных роlikоопор с насыпным грузом освещены довольно широко [1,2,3,4], а также в работах Смирнова В.К., Бондарева В.С., Лисицы Н.И., Демина Г.К. Рассмотрены различные механизмы взаимодействия груза с роlikоопорами (ударный [1,2,3] и импульсный [4]). В первом случае силы динамического взаимодействия зависят от угла набегания ленты с грузом на роlikоопору, во втором случае – от изменения характера нагружения (от распределенной нагрузки к сосредоточенной). Результаты выполненных теоретических исследований по обоснованию коэффициента динамического взаимодействия ( $K_d$ ) груза с элементами конвейера [1,2,3,4] представлены на рисунке 1 а,б,в,г и указывают, что значения  $K_d$  при практически одинаковых параметрах конвейера имеют большой разброс. Это усложняет выбор значений  $K_d$  с достаточной точностью для заданных условий на стадии проектирования ленточных конвейеров.

Решить эту задачу возможно путем сопоставления закономерностей изменения  $K_d$ , полученных в работах различных авторов, с данными экспериментальных исследований и выбора их значений, адекватных реальным условиям.

**Целью настоящей статьи** является анализ и обобщение результатов теоретических исследований на более широкий диапазон скоростей конвейеров на базе данных экспериментальных исследований.



а,б,в,г соответственно закономерности построенные по данным теоретических работ для жестких (кривые 1,2,3,4,5-[1,2,3,4,5]), шарнирных (кривые 1,2,3-[2,3,4]), подпружиненных (кривые 1,2,3,4 - [1,4,5]) и податливых (кривые 1,2,3,4- [1,3,4,5]) роlikоопор

Рисунок 1 - Закономерности изменения коэффициента динамичности от скорости движения ленты на линейной части конвейера

### Методика экспериментальных исследований.

Экспериментальные исследования взаимодействия груза с различными конструкциями роlikоопор конвейера производились в лабораторных и промышленных условиях на конвейерах. Программой исследований предусматривалось измерить нагрузки на роlikоопоры различной конструкции (жесткие, шарнирные, подпружиненные и податливые конструкции НАН Украины), установленные в пункте загрузки и на линейной части конвейера. На конвейере транспортировались насыпной груз крупностью до 500 мм, единичные и крупные куски различной массы с постоянным и случайным

интервалом следования. Скорость транспортирования варьировалась в пределах от 1 до 5 м/с. Сила взаимодействия фиксировалась при остановленном и движущемся конвейере измерительным роликом и методами, колебания роликоопор под нагрузкой – при помощи датчиков перемещения.

Форма кусков выбиралась кубическая, округлая и параллелепипедная. Согласно планированию экспериментов измерение силы взаимодействия груза с роликоопорами производилось 4-5 раз. Тип роликоопор жестких, шарнирных, подпружиненных имитировали путем изменения конструкций податливых роликоопор [1]. На стенде применялись нагружающие элементы массой 25, 40, 60 кг [1]. Натяжение ленты во время экспериментов устанавливалось 25 кН. Момент взаимодействия крупных кусков с роликоопорами фиксировался кнопочным приспособлением [1]. Обработка данных экспериментов выполнялась с использованием методов математической статистики и случайных процессов [5]. Значение  $K_d$  взаимодействия груза с роликоопорами определялось как отношение динамической силы к статической и проверялось для подвесных, податливых и подпружиненных роликоопор по коэффициенту динамичности, определенному как отношение максимальной амплитуды колебаний роликоопоры после взаимодействия к ее перемещению при статическом нагружении.

#### **Результаты выполненных исследований.**

Первоначально силы взаимодействия грузопотока и единичных крупных кусков измерялись измерительным роликом и мездозами в пункте погрузки ленточного конвейера. На рис. 2 представлены характерные осциллограммы процесса взаимодействия насыпных грузов с различными типами роликоопор в пункте загрузки ленточного конвейера, из которых следует, что:

- сила взаимодействия крупнокусового груза с роликоопорами различной конструкции существенно зависит от жесткости упругой подвески (см. рис. 2 а,б,в,г д,е);

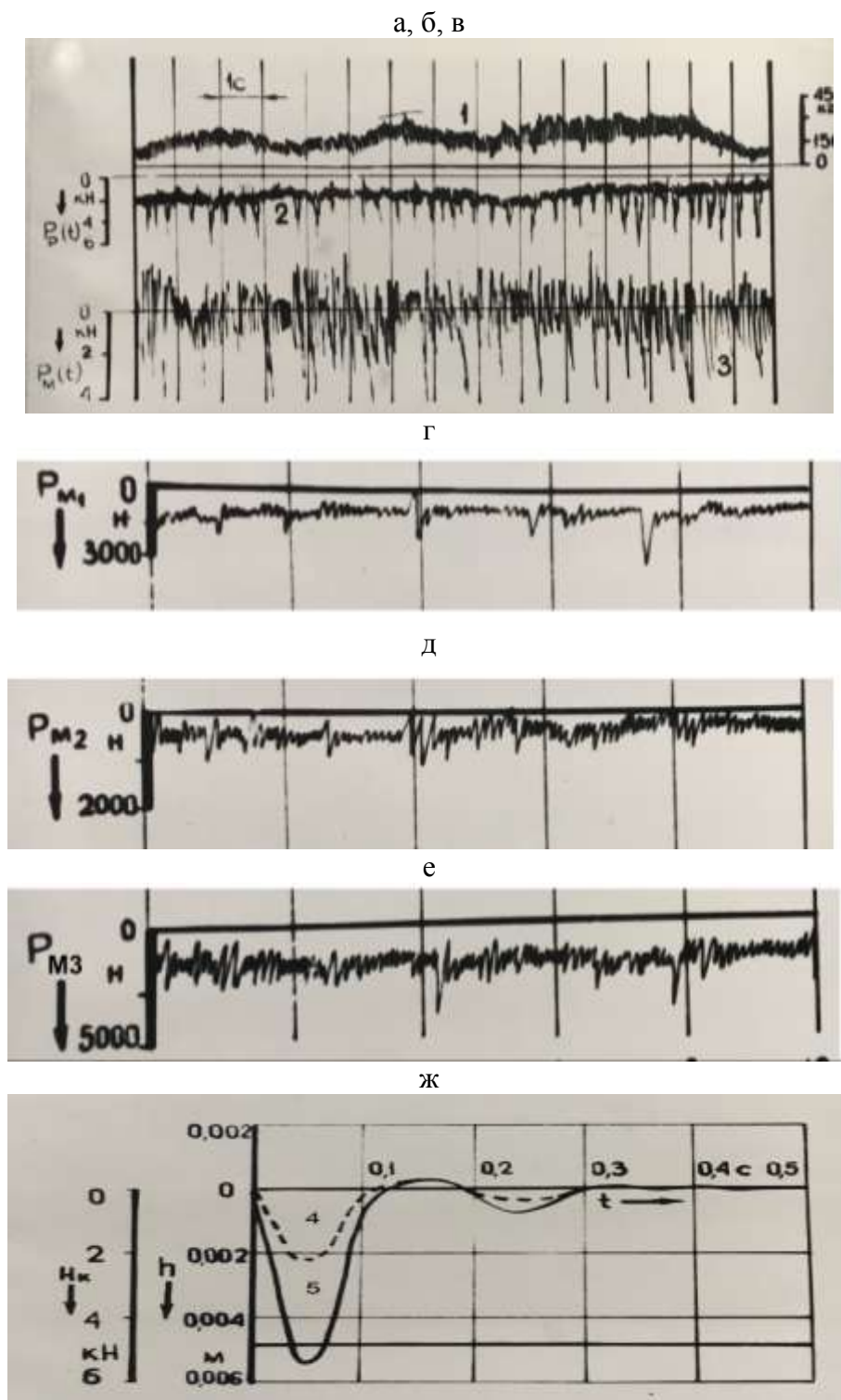
- поток насыпного груза снижает силу взаимодействия крупных кусков с роликоопорами за счет подсыпки мелкокусовых фракций (см. рис. 2 а,г,д,е);

- сила взаимодействия потока единичных крупных кусков зависит от их массы (см. рис. 2а,б).

- амплитуда колебаний роликоопоры на упругой подвеске в первый момент взаимодействия достигает максимальной величины, а затем резко снижается до нуля за счет диссипативных сил от натяжения ленты конвейера (см. рис. 2е);

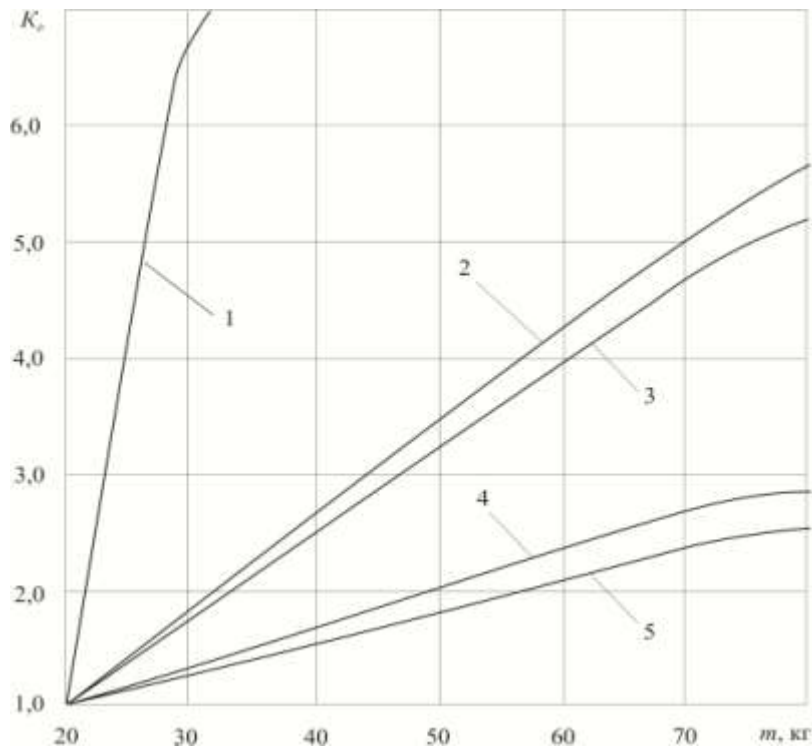
- реализация изменения нагрузки на роликоопору, измеренная с помощью измерительного ролика (см. рис. 2б), менее наглядна, чем измеренная мездозами (см. рис. 2в), и соответственно характеризуется большей на 15-20% погрешностью измерения силы взаимодействия.

На основании данных обработки осциллограмм получены закономерности изменения  $K_d$  от массы крупных кусков (рис. 3), анализ которых позволяет сделать следующие выводы:



а,б,в,г,д,е,ж-реализации силы взаимодействия соответственно потока крупнокускового груза с жесткими роlikоопорами; потока единичных крупных кусков с жесткими роlikоопорами (усилия измерены роlikом); потока единичных крупных кусков с жесткими роlikоопорами (усилия измерены месдозами); потока насыпного груза с шарнирными, податливыми и подпружиненными роlikоопорами; прогиб ленты между роlikоопорами: 4,5-подпружиненных и податливых

Рисунок 2 - Осциллограммы взаимодействия насыпного груза с роlikоопорами различной конструкции в пункте загрузки конвейера



1,2,3,4,5 – відповідно жорсткі, пружинні, шарнірні та податливі на канатах і конвеєрній ленті

Рисунок 3 - Закономерности изменения коэффициента динамичности от типа применяемых роликотопор на конвеєре в пункті загрузкі

- с достаточной для практических расчетов точностью рекомендуется применять закономерности изменения  $K_d$  в зависимости от массы крупных кусков, полученные экспериментально для жестких, пружинных; шарнирных, податливых на канатах и податливых на конвеєрній ленті роликотопор (см. рис. 3, кривые 1,2,3,4,5);

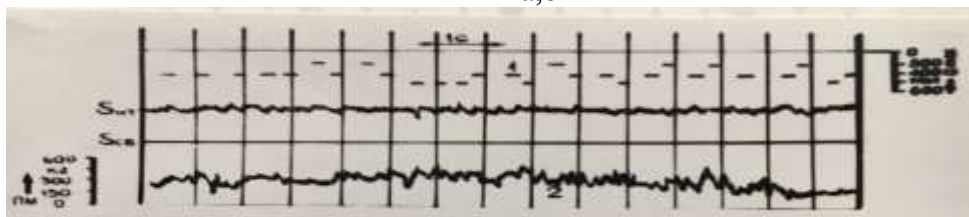
- применение амортизаторов различной конструкции снижает в 1.5-4.0 раза значение коэффициента динамичности по сравнению с жесткими роликотопорами при одинаковых массах и высотах загрузки материала (см. рис. 3, кривые 1,2,3,4,5);

- зависимость коэффициента динамичности от массы кусков, взаимодействующих с роликотопорами, имеет нелинейный характер (см. рисунок 3, кривые 2,3,4,5); при массе куска свыше 20кг сила взаимодействия экспериментально не определена (см. рисунок 3, кривые 1).

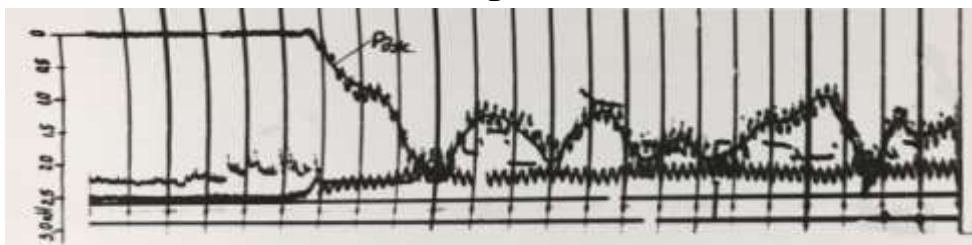
Характерные осциллограммы взаимодействия насыпного груза с роликотопорами линейной части ленточного конвеєра показаны на рисунке 4, из которых следует, что:

- импульс взаимодействия крупных кусков с роликотопорами имеет, практически, форму треугольника, основание которого – это время взаимодействия куска с роликотопорой, а высота – амплитуда силы их взаимодействия (см. рис. 4 б,г, д,е,ж);

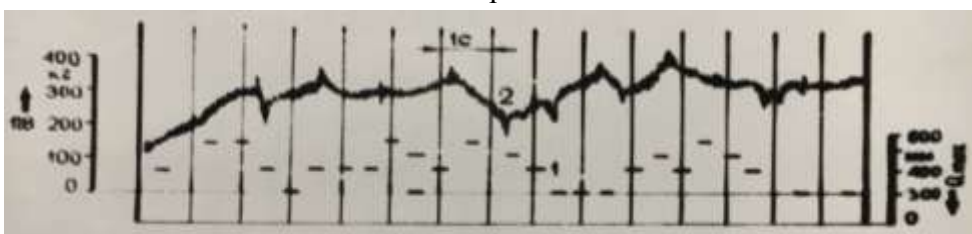
а,б



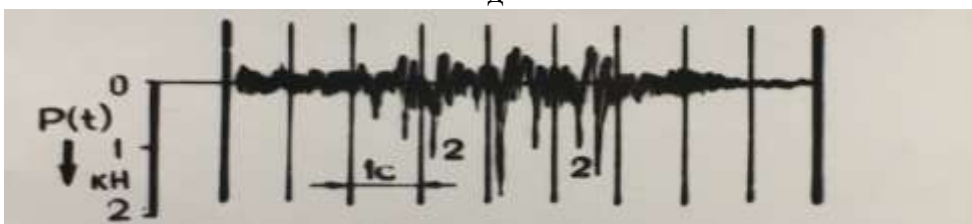
в



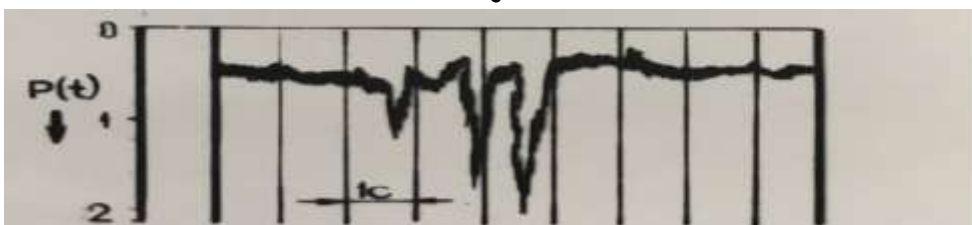
г



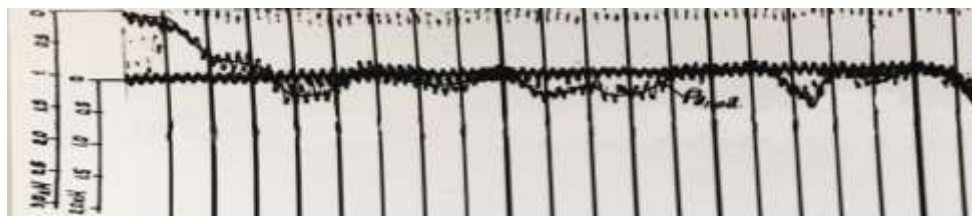
д



е



ж



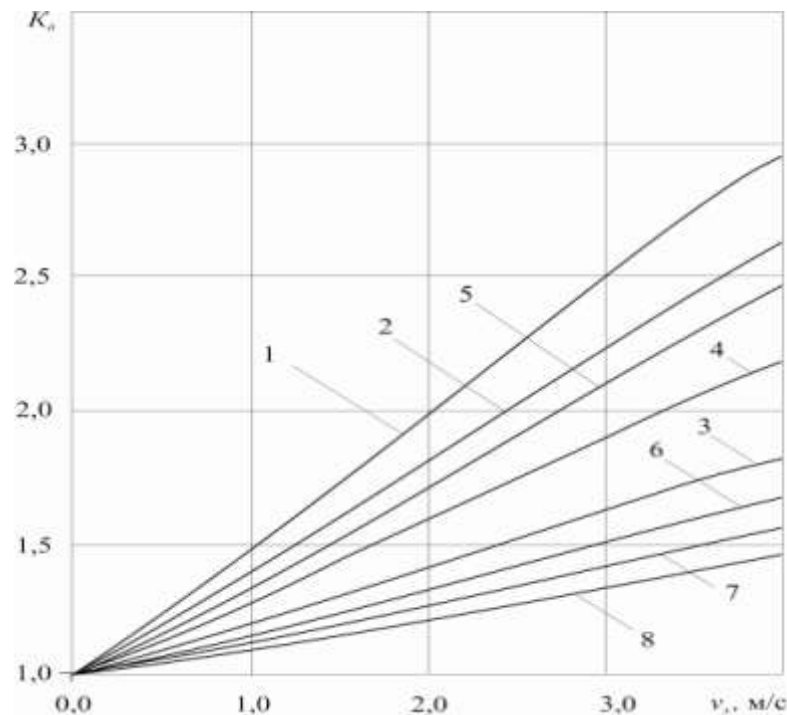
а,б,в,г,д,е,ж, – соответственно реализации натяжения ленты, сил взаимодействия потока насыпного груза с жесткими роlikоопорами при скорости 2,3,4 м/с; потока единичных крупных кусков с податливыми роlikоопорами при скорости 3м/с; единичных крупных кусков с шарнирными роlikоопорами при скорости 3м/с; потока насыпного груза с податливыми роlikоопорами при скорости 2, м/с

Рисунок 4 - Осциллограммы взаимодействия насыпного груза с роlikоопорами различной конструкции линейной части конвейера

- величина амплитуды импульса зависит от жесткости упругой подвески роликоопор и скорости транспортирования насыпного груза (см. рис. 4 б,в,г,д,е, ж), а время взаимодействия - только от скорости транспортирования груза;

- значение силы взаимодействия потока груза, единичных крупных кусков с роликоопорами зависит от их конструкции и скорости транспортирования (см. рис. 4б, в, г,д,е,ж ).

На основании данных обработки осциллограмм получены закономерности изменения  $K_D$  от скорости транспортирования насыпного груза (рис. 5), анализ которых показал, что:



1,2,3,4 – жесткие, шарнирные, подпружиненные и податливые на канатах и на ленте

Рисунок 5 – Закономерности изменения коэффициента динамического взаимодействия груза с роликоопорами различной конструкции

- в зависимости от конструкции применяемых типов роликоопор на линейной части конвейера значения  $K_D$  изменяется в пределах от 1,2 до 3,0. При этом роликоопоры с упругой подвеской позволяют снизить в полтора - два раза значение коэффициента динамичности по сравнению с жесткими роликоопорами (см. рисунок 5 кривые 1,2,3,4,5,6,7,8);

- увеличение скорости транспортирования насыпных грузов (см. рисунок 5, кривые 1,2,3,4,5,6,7,8) независимо от конструкции роликоопор приводит к повышению значений коэффициента динамичности;

- поток насыпного груза снижает значение динамической силы взаимодействия крупных кусков с роликоопорами за счет подсыпки мелкокусковой фракции в 1.2-1.5 раза (см. рисунок 5, кривые 5,6).



Полученные экспериментальные закономерности изображены на рисунке 1 пунктирными линиями и хорошо согласуются с результатами вышеуказанных следующих теоретических работ:

- для жестких роликоопор - [3];
- для шарнирных роликоопор - [1, 3];
- для подпружиненных роликоопор - [2];
- для податливых роликоопор конструкции ИГТМ НАНУ [2];

### **Выводы.**

1. При выборе значений  $K_0$  для расчета на прочность элементов роликоопор, установленных в пункте загрузки ленточных конвейеров, рекомендуется использовать данные экспериментальных исследований представленные в данной работе.

2. Для линейной части конвейера выбор  $K_0$  в зависимости от типа применяемых роликоопор рекомендуется выполнять с использованием теоретических работ [1,2,3]. Ковалья А.В., ЛисицыН.И., ДеминаГ.К. соответственно для податливых, жестких, подпружиненных и шарнирных роликоопор.

---

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Монастырский, В.Ф. Разработка методов и средств управления надежностью мощных ленточных конвейеров: автореф. дис.... д-ра техн. наук: 05.05.06 / В.Ф. Монастырский. – Днепропетровск: ИГТМ НАН Украины, 1991. – 37 с.
2. Кирия, Р.В. О коэффициенте динамичности при транспортировании крупных кусков груза по ставу конвейера / Р.В. Кирия, Р.Г. Павленко, В.Н. Сапегин // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. / Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины. – Днепропетровск, 2003.- Вып. 42, - С. 51-56.
3. Кирия, Р.В. Исследование движения крупных кусков груза по роликоопорам ленточного конвейера // Р.В. Кирия, А.Н. Смирнов. Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр./Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины № 112, 2013, - С. 35-46.
4. Взаимодействие груза с роликами линейной части конвейера / Б. А. Кузнецов, В. К. Смирнов, А. В. Коваль, В. Ф. Монастырский // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – Днепропетровск: Промінь, 1978. – №4. – С. 54–57.
5. Вентцель, Е. С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения: учебное пособие / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. – М.: КНОРУС, 2010. – 480с.

### REFERENCES

1. Monastyrsky, V.F. (1991), "Development of methods and tools of management by reliability of powerful belt conveyers", Abstract of D.Sc. dissertation, 05.05.06, IGTM NAS of Ukraine, Dnepropetrovsk, SU.
2. Kiriya R.V., Pavlenko, R.G. and Sapegin, V.N. (2003), "About the coefficient of dynamism in the portage of large pieces of load on conveyer ramp", *Geo-Technical Mechanics*, no. 42, pp. 51-56.
3. Kiriya, R.V. and Smirnov, A.N. (2013), "Research motion of large pieces of load at roller supports of belt conveyer", *Geo-Technical Mechanics*, no. 112, pp. 35-46.
4. Kuznietsov, B.A., Smirnov, V.K., Koval, A.V. and Monastyrsky, V.F. (1978), "Interactijn of load with the rollers of linear part of conveyer", *Metallurgical and mining industry*, № 4, pp 54-57.
5. Venttsel, E. S. (2010), *Teoriya veroyatnostey i yee inzhenernye prilozheniya: uchebnoye posobiye* [Theory probabilities and its engineering applications: train aid], KNORUS, Moscow, RU.

---

### Об авторах

**Монастырский Виталий Федорович**, доктор технических наук, профессор, старший научный сотрудник в отделе физико-механических основ горного транспорта, Институт геотехнической

механики им. Н. С. Полякова национальной академии наук Украины (ИГТМ им. Н.С. Полякова НАН Украины), Днепр, Украина, [vfmon@mail.ru](mailto:vfmon@mail.ru)

**Кирия Руслан Виссарионович**, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, заведующий отделом физико-механических основ горного транспорта, Институт геотехнической механики им. Н. С. Полякова национальной академии наук Украины (ИГТМ им. Н.С. Полякова НАН Украины), Днепр, Украина, [kiriya\\_igtm@ukr.net](mailto:kiriya_igtm@ukr.net)

**Смирнов Андрей Николаевич**, кандидат технических наук, научный сотрудник в отделе физико-механических основ горного транспорта, Институт геотехнической механики им. Н. С. Полякова национальной академии наук Украины (ИГТМ им. Н.С. Полякова НАН Украины), Днепр, Украина, [sm.contur@mail.ru](mailto:sm.contur@mail.ru)

#### About the authors

**Monastyrsky Vitaly Fedorovich**, Doctor of Technical Sciences (D. Sc), Professor, Senior Researcher in Department of Mining Transport Physics and Mechanics, N. S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Science of Ukraine (N. S. Polyakov IGTM NASU), Dnepr, Ukraine, [vfmon@mail.ru](mailto:vfmon@mail.ru)

**Kiriya Ruslan Vissarionovich**, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Senior Researcher, Head of Department of Mining Transport Physics and Mechanics, N. S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Science of Ukraine (N. S. Polyakov IGTM NASU), Dnepr, Ukraine, [kiriya\\_igtm@ukr.net](mailto:kiriya_igtm@ukr.net)

**Smirnov Andrey Nikolaevich**, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Researcher in Department of Mining Transport Physics and Mechanics, M. S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Science of Ukraine (N. S. Polyakov IGTM NASU), Dnepr, Ukraine, [sm.contur@mail.ru](mailto:sm.contur@mail.ru)

**Анотація.** Аналіз результатів теоретичних досліджень, виконаних в роботах Кузнецова Б.А., Смирнова В.К., Бондарева В.С., Монастирського В.Ф., Ковалю А.В., Лисиці Н.І., Деміна, Г. К, показали, що значення коефіцієнта динамічної взаємодії насипного вантажу з різними конструкціями роликкоопор в завантажуваній та на лінійній частинах стрічкового конвеєра суперечать і мають великий розкид, що ускладнює вибір їх значень для розрахунку на міцність елементів конвеєра. Вирішити цю задачу можливо шляхом співставлення закономірностей зміни коефіцієнта динамічної взаємодії, отриманих в роботах різних авторів, з даними експериментальних досліджень та вибору їх значень адекватних реальним умовам.

В даній роботі представлені результати лабораторних і промислових експериментальних досліджень виконаних з метою виявлення значень коефіцієнтів динамічності взаємодії одиничних крупних шматків і потоку насипного вантажу з роликкооперами різної конструкції. Визначені експериментально значення коефіцієнтів динамічності при взаємодії з жорсткими, шарнірними, підпружиненими і податливими роликкооперами, на підставі яких було виконано порівняння одержаних результатів з теоретичними закономірностями різних робіт. Встановлено, що значення коефіцієнтів динамічності необхідно вибирати на стадії проектування стрічкових конвеєрів залежно від місця установки роликкоопор і їх конструкції.

**Ключові слова:** коефіцієнт динамічності, конвеєр, експеримент, насипний вантаж, крупні шматки, шарнірні, підпружинені, податливі, жорсткі роликкоопори.

**Annotation.** Analysis of theoretical research results performed by Kuznetsov BA, Smirnov V.K, Bondarev V.S., Monastyrsky V.F., Koval A.V., Lisitsa N.I., Demin, G. K., showed that values of the coefficients of dynamic interaction of the bulk cargo with different structures of the roller carriage in the loading point and on the linear part of the belt conveyor were contradictory and had a great spread. Due to this fact, it is difficult to choose proper coefficient values for calculation of the conveyor element strength. This problem can be solved by comparing theoretical regularities with experimental researches and choosing refined calculated dynamic coefficients, which are adequate to the real conditions.

In this article, results of laboratory and industrial researches of the belt conveyers are shown, objective of which was to specify values for coefficients of dynamic interaction between single lump and stream of the bulk cargo and roller carriages of different designs. Experimental values of dynamic coefficients at interaction with rigid, articulated, spring-loaded and compliant roller carriages were determined and compared with theoretical regularities presented in other works. It is stated that values for the dynamic coefficients should be chosen at the stage of the belt conveyer designing depending on the site of the roller carriage installation and its design.

**Keywords:** dynamic coefficient, conveyer, rigid, articulated, spring loaded, compliant roller carriages, bulk cargo, interaction, lumps.

*Статья поступила в редакцию 4.12. 2017*

*Рекомендовано к печати д-ром техн. наук Г.И. Ларионовым*