

К ВОПРОСУ СОЗДАНИЯ БОЛЬШЕГРУЗНЫХ САМОСВАЛОВ С КУЗОВОМ АКТИВНОГО ДЕЙСТВИЯ

Евгения Григорьевна Куликова

Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, 630091, Россия, г. Новосибирск, Красный проспект, 54, кандидат технических наук, научный сотрудник лаборатории вибротехники, тел. (383) 205-30-30 доп. 169, e-mail: shevchyk@ngs.ru

Владимир Михайлович Усольцев

Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, 630091, Россия, г. Новосибирск, Красный проспект, 54, научный сотрудник лаборатории вибротехники, тел. (383) 205-30-30 доп. 168

Приведен аналитический обзор существующих автосамосвалов с принудительной разгрузкой кузова, реализуемой с помощью гидравлических или механических устройств, встроенных в его конструкцию, а также за счет вибрационного воздействия автомобильных площадочных вибровозбудителей, закрепляемых на стенках кузова. Обоснована возможность использования транспортирующих устройств с упругим рабочим органом, разработанных в ИГД СО РАН, в качестве ложного днища кузова большегрузного автосамосвала и необходимость их оснащения самосинхронизирующимися инерционными вибровозбудителями. Приведены методика проведения и результаты экспериментальных исследований динамики упругих рабочих органов различной жесткости, оснащенных двумя дебалансными источниками колебаний. Установлены геометрические и динамические соотношения, обеспечивающие стабильность синхронного режима работы вибровозбудителей в условиях изменения технологической нагрузки на поверхность рабочего органа вследствие выпуска сыпучего материала из кузова. Экспериментально определена степень виброизоляции вибротранспортирующих устройств от несущей конструкции самосвала.

Ключевые слова: разгрузка кузова, упругий рабочий орган, дебалансный вибровозбудитель, самосинхронизация, устойчивость режима, длина волны, виброзащита

TO THE PROBLEM OF CREATING LARGE DUMP TRUCKS WITH ACTIVE BODIES

Evgeniya M. Kulikova

Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 54 Krasny prospect, Novosibirsk 630091, Russia, Cand. Sci. (Eng.), Researcher of Vibrotechnics Laboratory, office: +7 (383) 205-30-30 ext. 169, e-mail: shevchyk@ngs.ru

Vladimir M. Usol'tsev

Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 54 Krasny prospect, Novosibirsk 630091, Russia, Researcher of Vibrotechnics Laboratory, office: +7 (383) 205-30-30 ext. 168

An analytical review of existing dump trucks with forced unloading of the body, implemented using hydraulic or mechanical devices built into its structure, as well as due to the vibration effect of automobile on-site vibration exciters fixed on the body walls, is given. The possibility of using the transporting devices with an elastic function element, developed at the Institute of Mining of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, as a false bottom of the body of large dump truck and the need to equip them with self-synchronizing inertial vibration exciters has been

substantiated. The procedure and results of experimental studies of the dynamics of elastic function elements with different rigidity, equipped with two unbalanced vibration sources have been presented. Geometric and dynamic ratios that ensure the stability of synchronous operation of vibration exciters in conditions of a change in the technological load on the surface of a function element due to the release of bulk material from the body have been found. The degree of vibration isolation of vibrotransporting devices from the supporting structure of a dump truck has been experimentally determined.

Keywords: body unloading, elastic function element, unbalanced vibration exciter, self-synchronization, mode stability, wavelength, protection against vibration

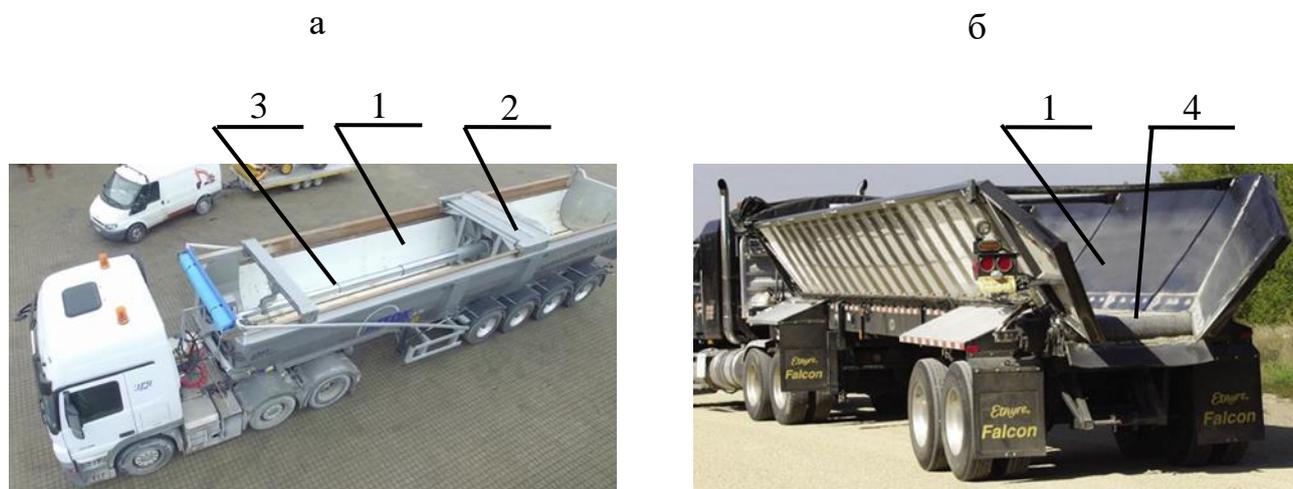
На протяжении долгого времени автомобильный транспорт остается основным средством доставки полезных ископаемых, добываемых как открытым, так и закрытым способом. Отработанная порода также перевозится к месту отсыпки с его помощью. В условиях роста объемов добычи горных пород увеличивается и грузоподъемность самосвалов, которая в настоящее время может превышать 450 т [1–7]. В связи с этим происходит не только модернизация системы управления автотранспортом, но и принципиальные изменения его конструкций, позволяющие облегчить выполнение рабочих операций, сократить их время и повысить безопасность работы большегрузных автосамосвалов.

В частности, уделяется внимание системе разгрузки кузова. Сыпучие материалы имеют различные физико-механические свойства (связность, липкость и т.д.) и в большом количестве способны слеживаться и уплотняться, а транспортировка в условиях пониженных температур способствует их смерзанию. Все это затрудняет разгрузку большегрузных самосвалов. Увеличение угла подъема кузова для активации перемещения сыпучего груза вызывает опасность потери устойчивости машины и повышенные требования к устойчивости гидроцилиндров и системы подъема груженого кузова. Поэтому наряду с традиционной выгрузкой за счет опрокидывания кузова назад применяются методы принудительной разгрузки.

К ним можно отнести горизонтальное выталкивание сыпучего материала из кузова с помощью подвижной задней стенки. Такой способ реализуется самосвалами датской компании MTDK [8]. Кузов этих машин представляет собой полуприцеп, работающий с серийными автомобилями (рис. 1,а). При заполнении и транспортировке сыпучего материала его задняя стенка находится в крайнем втянутом положении, а при разгрузке перемещается с постоянной скоростью вдоль всей длины кузова при помощи мощного гидроцилиндра. Это позволяет производить отсыпку без подъема кузова, и, следовательно, работать в стесненных условиях, в том числе при подземной добыче полезных ископаемых. При разгрузке в отвал такой способ разгрузки не вызывает смещение центра тяжести груженной машина, и не влияет на изменение ее устойчивости. Движение сыпучего материала идет с контролируемой скоростью. Таким образом машина может быть своеобразным питателем при перегрузке сыпучего материала. Кроме того, подвижная задняя стенка позволяет выполнить полный выпуск всего груза без

налипаний на стенки и дно кузова, несмотря на отсутствие наклона последнего. Однако, использование такого метода разгрузки на автосамосвалах грузоподъемностью более 100 тонн не рентабельно, так как требует применения дорогостоящих мощных гидроцилиндров, способных протолкнуть заднюю стенку на значительное расстояние, преодолевая сопротивление горной породы, находящейся на пути его действия.

Другим способом освобождения кузова является постепенное перемещение сыпучего груза к месту отсыпки с помощью конвейерного устройства, представляющего собой его ложное дно. Примером таких машин может быть самосвал компании Etnyre (США), кузов которого оснащен ленточным конвейером Falcon® (рис. 1, б) [9]. При такой разгрузке также не требуется наклонная поверхность, сыпучий материал перемещается с контролируемой скоростью, но сдвигающее воздействие оказывается на материал одновременно по всей длине кузова, благодаря чему выравниваются сопротивления его перемещению в направлении выгрузки. Материал движется равномерно. Кроме того, в сравнении с гидравлической системой управления использование ленточного конвейера требует меньших энергетических и экономических затрат. Однако конвейерная лента имеет низкую износостойкость, особенно при работе с горной массой, причем степень абразивного износа увеличивается с ухудшением погодных условий, для работы в которых предназначен самосвал.



а – МДТК (Дания), б – Etnyre (США)
1 – кузов; 2 – подвижная стенка; 3 – гидроцилиндр; 4 – конвейер

Рис. 1. Самосвалы с принудительной разгрузкой

Альтернативой является вибрационный способ воздействия на горную массу, ускоряющий процесс разгрузки. Например, специалисты Ярославского завода «Красный маяк» предлагают автомобильные вибраторы [10], закрепляемые на днище кузова со стороны рамы шасси и приводимые от бортовой сети автомобиля. Конструктивно они представляют собой дебалансные вибровозбудители,

создающие колебания кузова за счет центробежной силы вращения дебалансов. При всей простоте конструкции, монтажа и использования, создание колебаний всего кузова и находящейся в нем горной породы с амплитудой, достаточной для ее выпуска, требует значительных затрат мощности. Кроме того, такие колебания будут передаваться на элементы крепления кузова к шасси и его гидравлическую систему управления поворотом, вызывая дополнительные динамические нагрузки и ускоряющие их износ.

Альтернативой может быть оснащение дна кузова ложным днищем в виде нескольких вибрационных транспортирующих устройств с упругим рабочим органом (рис. 2), разработанных в ИГД СО РАН и используемых в конструкции передвижного гидрофицированного вибрационного отвалообразователя [11–17].



1 – кузов; 2 – вибрационное транспортирующее устройство;
3 – несущая рама; 4 – гидроцилиндр подъема-опускания кузова

Рис. 2. Кузов с вибрационной разгрузкой

Такие транспортирующие устройства отличаются малой металлоемкостью, простотой конструкции и монтажа, возможностью реализации различных режимов вибротранспортирования в зависимости от физико-механических свойств перегружаемого материала. Использование его в конструкции самосвала позволяет уменьшить энергозатраты на создание колебаний выгружаемого сыпучего материала, и снизить передачу вибрации на все элементы самосвала, так как вибровозбудители передают вибрацию не на весь кузов, а только на его дно.

При этом каждый упругий рабочий орган должен укладываться в подготовленных пазах металлоконструкции кузова и закрепляться по торцам, представляя собой элемент днища. Элементы крепления должны, с одной стороны, удерживать рабочий орган от смещения, а, с другой стороны, – не оказывать влияние на

распространение колебаний, создаваемых инерционным вибровозбудителем, вдоль транспортирующей поверхности. Выравнивание вибрационного поля достигается с помощью двух дебалансных вибровозбудителей, способность которых к самосинхронизации позволяет достигнуть желаемого результата с минимальными затратами и без усложнения конструкции [18 – 23].

Для проверки стабильности синхронного режима вращения дебалансов вибровозбудителей в условиях переменной нагрузки, и определения вибропередачи от упругого рабочего органа на несущую металлоконструкцию была проведена серия лабораторных экспериментов на стендах, включающих в себя идентичные модели вибротранспортирующих устройств (рис. 3) с жесткостями грузонесущих органов EI , равными 154, 875 и 55000 $\text{Н}\times\text{м}^2$.



1 – рабочий орган; 2 – инерционный вибровозбудитель; 3 – рама;
4, 5 – вертикальный и упругий опорный элемент соответственно

Рис. 3. Вибрационное транспортирующее устройство

Вынуждающая сила источников колебаний P_A принималась равной 4,0 кН для создания вибрации рабочих органов жесткостью 154 и 875 $\text{Н}\times\text{м}^2$ и 10,0 кН – для работы с грузонесущим органом жесткостью 55000 $\text{Н}\times\text{м}^2$.

В качестве сыпучего материала использовалась супесь влажностью 4 – 8 %. Ее погонный вес принимался равным $q = 1,23, 2,04, 2,86, 3,68$ или 4,46 кН/м.

С помощью комплекта виброизмерительной аппаратуры измерялась скорость колебаний транспортирующей поверхности на участках закрепления вибровозбудителей, рамы и опорных элементов. Рассогласование парциальных виброисточников определялось априорно по осциллограммам изменения

виброскорости. При этом допусаемым рассогласованием Δf считалось такое, при котором синхронный режим работы вибровозбудителей был устойчив. Кроме того, фиксировалось время выпуска мерного объема сыпучего материала при работе виброустройства в накопительной емкости.

В работе [18] указано, что наиболее устойчивый синхронный режим достигается при работе вибровозбудителей в противофазе. Однако экспериментально было установлено, что угол сдвига фаз зависит от нагрузки со стороны перемещаемого материала и жесткости грузонесущего органа (рис. 4), и может меняться в процессе выпуска.

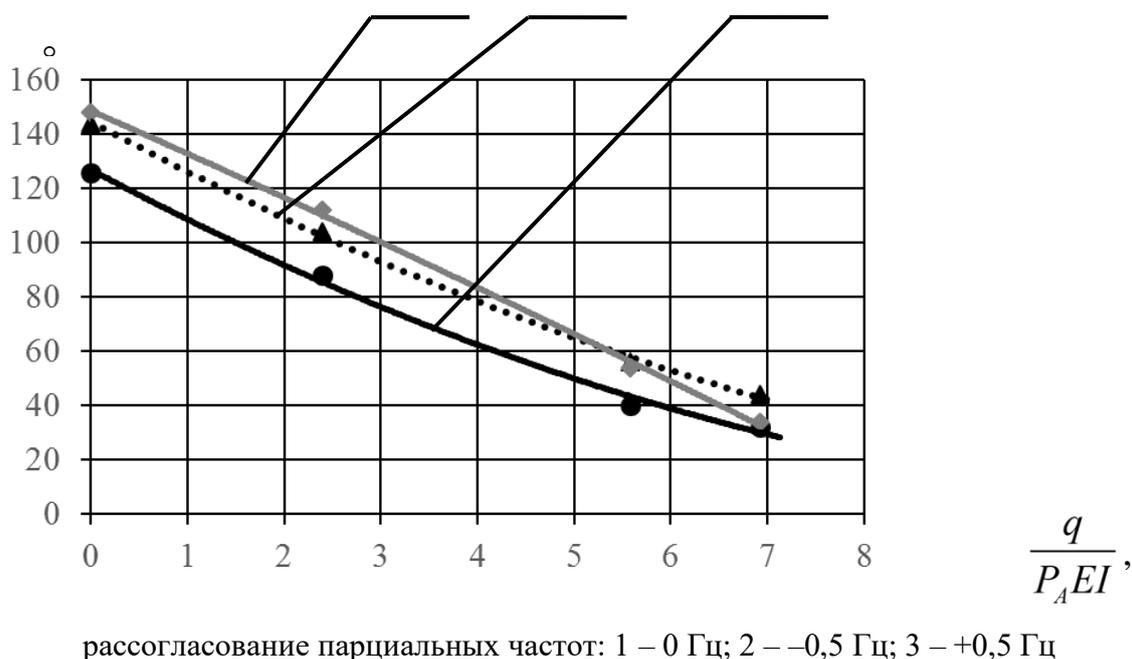


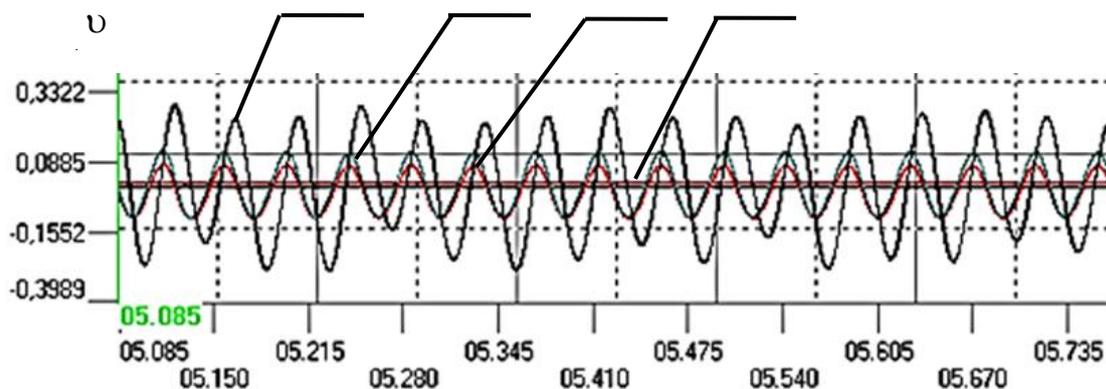
Рис. 4. Зависимость угла сдвига фаз вибровозбудителей в зависимости от амплитуды их вынуждающей силы P_A , погонного веса сыпучего материала q и жесткости рабочего органа EI

При этом степень влияния вибровозбудителей, установленных на основании малой жесткости, друг на друга зависит в основном от характера волнового движения последнего и степени затухания колебаний, передаваемых от одного виброисточника к месту закрепления другого. Стабильный режим работы на протяжении всего выпуска с частотой колебаний 49 – 50 Гц был получен при отношении $l/l_B = 0,5 – 0,6$ (l – расстояние между участками приложения вынуждающей силы), которое может считаться определяющим при проектировании вибро-транспортного устройства. В свою очередь наибольшее отношение погонного веса сыпучего материала к амплитуде вынуждающей силы, при котором

затухание колебаний не влияет на стабильность синхронного режима, составило $q/P_A = 0,6 - 0,7$.

Проверка стабильности синхронного режима работы виброисточников в условиях разгрузки кузова с помощью предлагаемых транспортирующих устройств была выполнена при выгрузке сыпучего материала из кузова экспериментального отвалообразователя грузоподъемностью 10 тонн. Результаты испытаний подтвердили эффективность предлагаемого конструктивного решения.

Определение степени передачи вибрации на элементы конструкции выполнялось на самой тяжелой модели вибротранспортирующего устройства с жесткостью рабочего органа $55000 \text{ Н} \times \text{м}^2$ (рис. 3). Полученные результаты показали, что амплитуда виброскорости рамы составляет не более 30% от амплитуды рабочего органа (рис. 5). Предполагается, что вследствие массивности кузова автомобиля этот показатель будет еще меньше, что значительно снизит динамическую нагрузку на его металлоконструкцию в сравнении с использованием автомобильных вибровозбудителей, закрепленных непосредственно на раме. В свою очередь на упругих элементах виброустройства, соответствующих элементам крепления кузова к шасси, вибрация практически отсутствует (кривая 4, рис. 5).



1 – рабочий орган; 2 – рама; 3, 4 – вертикальный и упругий опорный элемент соответственно

Рис. 5. Осциллограмма скорости колебаний элементов конструкции вибротранспортирующего устройства

ВЫВОДЫ

1. Использование вибротранспортирующих устройств с упругим рабочим органом в качестве ложного днища позволяет повысить эффективность, производительность и безопасность разгрузки кузовов большегрузных автомобилей.

2. Данное конструкторское решение проще и дешевле в сравнении с гидрофицированной подвижной стенкой кузова и надежнее в сравнении с днищем в виде ленточного конвейера.

3. Использование двух дебалансных самосинхронизирующихся вибровозбудителя в конструкции каждого вибротранспортера позволяет обеспечить равномерное вибрационное поле по всей площади днища кузова. При этом конструктивные и динамические параметры устройств подбираются такими, чтобы соблюдались экспериментально полученные отношения $l/l_B = 0,5 - 0,6$ (l – расстояние между участками приложения вынуждающей силы; l_B – длина изгибной волны, передаваемой от одного виброисточника к другому) и $q/P_A = 0,6 - 0,7$ (q – погонный вес сыпучего материала, P_A – амплитуда вынуждающей силы).

4. В результате физического моделирования установлено, что при колебаниях упругих рабочих органов вибрация практически не передается на шасси автомобиля, а амплитуда вибрации кузова составляет не более 30 % от амплитуды их колебаний.

Работа выполнена в рамках научного проекта ФНИ № гос. регистрации АААА-А17-117122090003-2.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Интенсификация погрузочно-транспортных работ на карьерах / С. Г. Молотиллов, Е. И. Васильев, О. Б. Кортелев и др. – Новосибирск: Из-во СО РАН, 2000. – 208 с.
2. БЕЛАЗ накануне 65-летия выпустил первый 450-тонный карьерный самосвал // Горная промышленность – 2013. - № 5 (111) – С. 7
3. Егоров А.Н., Насковец А.М., Мариев П.Л. Карьерный самосвал БЕЛАЗ-75710 грузоподъемностью 450 тонн // Актуальные вопросы машиноведения – 2013. – Т. 2. – С. 18–20
4. Левенсон С. Я., Гендлина Л. И., Морозов А. В., Усольцев В. М. Совершенствование процесса формирования автоотвалов при открытой разработке полезных ископаемых // ГИАБ – 2016. – № 1. – С. 96–105
5. Зенков И. В., Нефедов Б. Н., Барадулин И. М., Кирюшина Е. В. Современные тенденции и экологические проблемы в формировании и рекультивации породных отвалов при добыче угля открытым способом // Экология и промышленность России. – 2014. – № 6. – С. 22–25
6. Окунева А. Ю., Переверзева В. Ю. К вопросу о формировании отвалов вскрышных пород // Сб.: Образование, наука, производство VIII Международный молодежный форум. – 2016. – С.1207–1212
7. Левенсон С. Я., Гендлина Л. И., Морозов А. В., Усольцев В. М. Оборудование для безопасного формирования породных отвалов большегрузными автосамосвалами // Сб.: Перспективы инновационного развития угольных регионов России. Сборник трудов IV Международная научно-практическая конференция. – 2014. – С. 181–183
8. АМТ разработали самосвальный прицеп с горизонтальной разгрузкой [Электронный ресурс] // <http://interdalnoboy.com/2013/10/17/amt-razrabotali-samosvalnyjj-pricep-s-gorizontalnoujj-razgruzkojj.html>
9. Live bottoms [Электронный ресурс] // <https://www.etnyre.com/live-bottoms/>
10. Автомобильные вибраторы // <https://vibrotrade.ru/catalog/ploshchadochnye-vibratory/avtomobilnye-vibratory-postoyannogo-toka/>
11. Патент на полезную модель № 88004 В65G27/00. Вибрационный отвалообразователь / Левенсон С. Я., Гендлина Л. И., Еременко Ю. И., Морозов А. В., Протасов С. И., Голдобин В. А. – 2009. – 2 с.

12. Патент на полезную модель № 121800 В65G27/00. Вибрационный отвалообразователь / Левенсон С. Я., Гендлина Л. И., Усольцев В. М., Голдобин В. А., Морозов А. В. – 2012.
13. Морозов А. В. Куликова Е. Г. Формирование автомобильных отвалов с использованием вибротехники // Труды XV Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых «Проблемы геологии и освоения недр» - Томск, 2011. – Т.2. – С. 383–285
14. Тишков А. Я., Гендлина Л. И., Еременко Ю. И., Левенсон С. Я. Вибрационное воздействие на сыпучую среду при выпуске ее из емкости // ФТПРПИ – 2000. – № 1. – С. 55–60
15. Спиваковский А. О., Гончаревич И. Ф. Вибрационные и волновые транспортирующие машины. – М.: Наука, 1983.
16. Гендлина Л. И., Куликова Е. Г. О численном моделировании динамики вибрационного питателя для выпуска горной массы // ГИАБ – 2015. – № 11. – С.224–230
17. Тишков А. Я. Теория и практика создания машин для выпуска и доставки руды, основанных на принципе бегущей волны: Автореф. дис...докт. техн. наук / А. Я. Тишков; СО АН СССР. Совет секции по прочности материалов и технологии машиностроения Объед. учен. Совета по физ.-мат. и техн. наукам. — Новосибирск, 1974. — 28 с.
18. Блехман И. И. Синхронизация динамических систем – М.: «Наука» – 1971. – 894 с.
19. Блехман И. И., Васильков В. Б., Ярошевич Н. П. О некоторых возможностях совершенствования вибрационных машин с самосинхронизирующимися инерционными вибровозбудителями // Проблемы машиностроения и надежности машин – 2013. – № 3. – с.18–22
20. Нагаев Р.Ф., Шишкин Е.В. Самосинхронизация инерционных вибровозбудителей в вибрационной конусной дробилке // Обогащение руд. – 2003. – № 1. – С. 33–36
21. Ярошевич Т.С., Тимошук В.Н., Ярошевич Н.П. Динамическая синхронизация дебалансных вибровозбудителей с кратными частотами вращения // Вестник СевНТУ. – 2011. – № 120. С 228-233
22. Протасов С.И., Молотилев С.Г., Левенсон С.Я., Гендлина Л.И. Результаты испытания вибрационного конвейера – Рукопись деп. В ЦНИЭИУголь, №1634. – Кемерово,1979. – 9с.
23. Креймер В.И., Тишков А.Я. Колебания виброленты и их затухание по длине // ФТПРПИ – 1972. – № 3. – С. 111–115

© Е. Г. Куликова, В. М. Усольцев, 2021