

5. АЛАБУЖЕВ П.М., СТИХАНОВСКИЙ Б.Н., ШПИЛЬГЕЛЬБУРД И.Я. Введение в теорию удара. Новосибирск, 1970.

К ВОПРОСУ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СЫПУЧЕГО ТЕЛА В КУЗОВЕ  
ВАГОНЕТКИ ПРИ БУНКЕРНОЙ ЗАГРУЗКЕ

В.А.Макеев, Н.П.Батраков, А.Н.Коршунов,  
Ю.А.Курников, В.И.Новиков

В статье [1] приведены системы дифференциальных уравнений движений днища кузова и подрессоренной массы вагонетки при загрузке вагонетки сыпучим телом, в которые входят в неявном виде (как функции от времени) значения осевшей массы  $m_0(t)$  и высоты сыпучего тела в кузове  $h(t)$ .

Для решения указанных систем дифференциальных уравнений необходимо определить явную зависимость  $h(t)$  и  $m_0(t)$  от времени. Эти зависимости находятся при исключении  $h(t)$  и  $m_0(t)$  из двух уравнений, одно из которых описывает закон свободного падения тела после истечения из бункера, а второе отображает принятый закон распределения объема оседающего сыпучего тела в кузове вагонетки

$V(t) = \frac{m_0(t)}{\rho}$ . Рассмотрим процесс оседания сыпучего тела при истечении его из бункера.

Положим, что  $h_1$  - есть высота сыпучего тела, расположенного в условном бункере с постоянным сечением  $S$ , необходимая для загрузки вагонетки на высоту  $h(t)$ . Путь  $h_1$  в условном бункере сыпучее тело проходит с постоянной скоростью  $v_{уст}$ . С момента начала истечения груза из люка до начала загрузки проходит время [1]

$$T_0 = \frac{\sqrt{v_{уст}^2 + 2gH_0} - v_{уст}}{g} \quad (I)$$

За время  $T_0 + t$  слой  $\alpha - \alpha$  проходит путь  $h_1$  по бункеру и, падая, путь  $h_2 = h_0 - h(t) + w$

Отсюда, с учетом выражения (I), находим

$$h_1 = v_{уст} \cdot t + \frac{v_{уст}}{g} \left\{ \sqrt{v_{уст}^2 + 2gH_0} - \sqrt{v_{уст}^2 + 2g[H_0 - h(t) + w]} \right\}$$

Следовательно, за время  $t$  от начала соприкосновения груза с днищем кузова в кузов оседает столб груза высотой  $h_1$ , площадью сечения  $S$  и объемной плотностью  $\rho$  (при допущении, что сечение оседающей массы остается на всем пути постоянным)

$$m_o(t) = \rho \cdot S \cdot h_t = \rho \cdot S \left\{ v_{\text{учет}} \cdot t + \frac{v_{\text{учет}}}{g} \left[ \sqrt{v_{\text{учет}}^2 + 2gH_0} - \sqrt{v_{\text{учет}}^2 + 2g[H_0 - h(t) + W]} \right] \right\} \quad (2)$$

Рассмотрим случай загрузки прямоугольного кузова шириной  $b$  и длиной  $l$  с одной установки вагонетки, т.е. когда вертикальный бункер расположен над серединой днища. В качестве упрощения принимаем поперечное сечение оседающего сыпучего тела гостоянным по высоте и равным квадратному (со стороной  $\alpha$ ) сечению люка бункера.

При соприкосновении сыпучего тела с днищем происходит растекание потока под углом естественного откоса сыпучего груза  $\varphi$  и в первом приближении оседающее сыпучее тело принимает форму усеченной пирамиды с квадратным верхним основанием, равным  $\alpha$ .

При принятой схеме загрузки кузовов можно выделить три фазы:

1) от начала загрузки до момента, когда одно из оснований сеченной пирамиды становится равным ширине кузова;

2) от момента, когда одно основание усеченной пирамиды становится равным ширине кузова, до момента, когда второе основание усеченной пирамиды становится равным длине кузова;

3) последний этап загрузки до заполнения кузова.

Для указанных трех фаз мы получаем следующие соотношения между массами осевшего груза

$$1) \quad m_o(t_1) = \rho \frac{b^3 - a^3}{6} \cdot \text{tg } \varphi \quad (3)$$

$$t_1 = \frac{b^3 - a^3}{6a^2 v_{\text{учет}}} \cdot \text{tg } \varphi - \frac{\sqrt{v_{\text{учет}}^2 + 2gH_0} - \sqrt{v_{\text{учет}}^2 + 2gH_0 - g(b-a) \cdot \text{tg } \varphi}}{g}$$

$$2) \quad m_o(t_2) = \rho \cdot \frac{1}{4} \left\{ bl^2 - \frac{2a^3 + b^3}{3} \right\} \cdot \text{tg } \varphi \quad (4)$$

$$t_2 = \frac{3bl^2 - 2a^3 - b^3}{12a^2 \cdot v_{\text{учет}}} \cdot \text{tg } \varphi - \frac{\sqrt{v_{\text{учет}}^2 + 2gH_0} - \sqrt{v_{\text{учет}}^2 + 2gH_0 - g(l-a) \cdot \text{tg } \varphi}}{g}$$

$$3) \quad m_o(t_3) = \rho \cdot \frac{1}{2} \left\{ (a + 2H_t \text{ctg } \varphi) bl - \frac{2a^3 + b^3 + 3bl^2}{6} \right\} \cdot \text{tg } \varphi$$

$$t_3 = \frac{6(a + 2H_t \text{ctg } \varphi) l - 2a^3 - b^3 - 3bl^2}{12a^2 \cdot v_{\text{учет}}} \cdot \text{tg } \varphi - \frac{\sqrt{v_{\text{учет}}^2 + 2gH_0} - \sqrt{v_{\text{учет}}^2 + 2gH_0 - 2gH_t}}{g} \quad (5)$$

Таблица I

Зависимости между осевым нагружаемой массой и временем загрузки

Номера	I период $g$	2 период			3 период							
		0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,5	4,0	4,5	5,0	5,2	
(3). (4)												
(5)	0,053	0,15	0,31	0,469	0,623	0,776	0,900	1,082	1,236	1,390	1,545	1,613
I вариант	$m$	$P$	$m^3$									
(7)												
2 вариант	$\frac{m}{P}$	0,049	0,151	0,302	0,453	0,604	0,756	0,877	1,059	1,212	1,364	1,517
(8)												
3 вариант	$\frac{m}{P}$	0,049	0,151	0,302	0,453	0,604	0,755	0,876	1,057	1,208	1,359	1,510

где  $H$  - высота кузова с шапкой насыпанного груза.

Наиболее простым законом распределения груза в вагонетке является распределение, характерное для жидкости в прямоугольном кузове, для которого

$$m_0(t) = \rho \cdot S_1 \cdot h(t) \quad (6)$$

Здесь  $S_1$  - площадь всего дна вагонетки малой емкости при ее загрузке с одной установки, или половина площади дна при загрузке с двух установок.

Для этого случая, обозначая  $\sqrt{v_{уем}^2 + 2gH_0}$  через  $v$  (скорость оседающего груза в начале загрузки), получим

$$m_0(t) = \frac{\rho \cdot S \cdot v_{уем}}{g} \left[ v - \frac{S'}{S_1} v_{уем} + gt - \sqrt{\left( v - \frac{S'}{S_1} v_{уем} \right)^2 - 2 \frac{S'}{S_1} v_{уем} \cdot gt} \right] \quad (7)$$

Используя приближенную формулу

$$\sqrt{\left( v - \frac{S'}{S_1} v_{уем} \right)^2 - 2 \frac{S'}{S_1} v_{уем} \cdot gt} \approx \left( v - \frac{S'}{S_1} v_{уем} \right) \left[ 1 - \frac{g \cdot \frac{S'}{S_1} v_{уем} t}{\left( v - \frac{S'}{S_1} v_{уем} \right)^2} \right]$$

можно получить пропорциональный времени закон изменения осевшей массы

$$m_0(t) = \rho \frac{S' \cdot v \cdot S' v_{уем}}{S \cdot v - S v_{уем}} \quad (8)$$

Просчет значений об'ёмов оседающих масс по формулам (3), (4), (5), а также (7) и (8) за время загрузки кузова вагонетки УВГ-1,6 (таблица I) показывает, что зависимости (3), (4), (5) мало отличаются от случая, описываемого функцией (7), и оба могут быть заменены приближенной формулой (8)

#### Л и т е р а т у р а

Г. МАКЕЕВ В.А., БАТРАКОВ Н.П., КОРШУНОВ А.Н., КУРНИКОВ Ю.А., НОВИКОВ В.И. Составление дифференциальных уравнений колебаний дна кузовов шахтных вагонеток при ударном нагружении. Статья в данном сборнике.

КУЗБАССКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Кафедра горной механики

# ВОПРОСЫ ГОРНОЙ МЕХАНИКИ

Сборник научных трудов № 47

Кемерово 1973

Р С Ф С Р

МИНИСТЕРСТВА ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ

КУЗБАССКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ВОПРОСЫ ГОРНОЙ МЕХАНИКИ

Сборник научных трудов № 47

Кемерово 1973

Одобрено советом горно-электромеханического  
факультета 23 июня 1972г.

Коллективный рецензент: кафедры стационарных  
машин и комплексов и транспортных машин  
Московского горного института

## А Н Н О Т А Ц И Я

Сборник содержит материалы научных исследований в области рудничных пневматических, под"емных, вентиляторных, калориферных, транспортных установок. Цикл работ по пневматическим установкам характеризуется системным подходом к проблеме. Работы по транспорту направлены на расширение области применения, повышения эффективности, надежности и долговечности эксплуатации транспортных установок.

Рассмотренные вопросы представляют интерес для научных работников, аспирантов и студентов, занимающихся исследованиями в указанной области.

Результаты исследования могут быть рекомендованы для работников соответствующих научно-исследовательских и проектно-конструкторских организаций, заводов и шахт.

### РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

В.М.ВОРОНЧИХИН (гл. редактор)  
А.Н.КОРШУНОВ (зам. гл. редактора)  
Л.Л.МОИСЕЕВ (отв. редактор)  
В.Я.БАЛАХ (зам. отв. редактора)  
Г.И.ПЕРМИНОВ (зам. отв. редактора)  
М.С.САФОХИН, А.А.ПОГА  
Н.Г.СТЕПАНОВА, Р.С.МОДОЯНЧЕВА

О Г Л А В Л Е Н И Е

	стр.
В.Я.БАЛАХ, Л.Л.МОИСЕЕВ. Системный подход к решениям вопросов технологических нововведений . . . . .	4
Л.Л.МОИСЕЕВ. Моделирование технологических процессов, связанных с эксплуатацией стационарных установок горного производства . . . . .	9
В.Я.БАЛАХ, Л.Л.МОИСЕЕВ. Статистическое моделирование горного производства . . . . .	19
В.В.ОНИЩЕНКО, Н.Н.ЧУФИСТОВ. Пути совершенствования буровых работ на Тайском руднике . . . . .	25
К.С.ДЬЯЧЕНКО, Л.Л.МОИСЕЕВ. Применение сетевой модели блока для оптимизации режимов бурения глубоких скважин . . . . .	31
А.В.БОВТ. Определение потерь давления при неустановившемся движении сжатого воздуха . . . . .	38
А.В.БОВТ. Алгоритм вычисления на ЭЦВМ потерь давления при гармоническом законе потребления сжатого воздуха . . . . .	43
В.В.НАЗАРЕВИЧ. Экспериментальные исследования газодинамических потерь в пневмосетях при периодических режимах расхода . . . . .	46
В.Н.ГОРНЧЕВ. Модифицированный алгоритм поверочного расчета пневматических сетей . . . . .	53
А.Н.ФИНАГИН. Определение эффективности способов регулирования производственного процесса при вероятностных расходах сжатого воздуха . . . . .	58
Л.Л.МОИСЕЕВ, В.В.НАЗАРЕВИЧ. Условие для воспроизведения периодически изменяющегося расхода сжатого воздуха в пневмосети . . . . .	64
В.В.НАЗАРЕВИЧ. Критерии, определяющие потери давления сжатого воздуха в сетях при неустановившихся режимах расхода . . . . .	69
Б.М.ТИТОВ. Характерные дефекты приведения результатов испытания пневматических машин к стандартным условиям . . . . .	72
Г.Ф.КАПРАЛОВ, А.Н.ФИНАГИН. К определению закона движения поршня при надкритическом наполнении цилиндра рабочего торможения . . . . .	78
Г.Ф.КАПРАЛОВ, А.Н.ФИНАГИН. Некоторые вопросы расчетов подкритического течения газов . . . . .	88

В.Н.БИЗЕНКОВ, П.Д.ГАВРИЛОВ. Исследование эксплуатационной надежности под"емных канатов скиповых под"емов . . . . .	100
В.Н.БИЗЕНКОВ, П.Д.ГАВРИЛОВ. Пути увеличения работоспособности подъемных канатов на главных подъемных шахт Кузбасса . . . . .	106
И.С.КАТРИК. О паузе между подъемами скиповых подъемных установок. . . . .	112
Б.М.ТИТОВ. Стенд для испытания вентиляторов с пневматическим приводом . . . . .	117
Л.С.ФРЕЙДЛИХ. Новое реверсивное устройство для центробежных вентиляторов . . . . .	121
В.В.ХАН. Исследование процесса подготовки пульпы для гидропод"ема с последующим транспортом на II-I2 км . . . . .	128
В.В.МАКАРОВ, В.А.ТАТЬКОВ. Исследование пространственного потока в рабочем колесе центробежного насоса для перекачки пульпы	132
Н.П.КОРОТКОВ. О максимальной производительности эрлифтов . . . . .	138
Ю.Н.БРОДНИКОВ, А.Н.РЫБИН, Г.В.ВЕРСТАКОВ. Определение межремонтного срока службы центрального насоса . . . . .	142
Н.И.КАРАСЕВ, И.И.ПАСКУТА. Математическое моделирование водо- и воздухоподогревательных установок в системах теплоснабжения шахт . . . . .	144
Н.М.ДМИТРИЕНКО. Исследования закономерностей двух свободных параллельных струй в режиме их смешивания . . . . .	150
В.М.ВОРОНЧИХИН. Влияние утечек на экономичность работы шахтных водоотливных установок . . . . .	160
В.М.ВОРОНЧИХИН. К вопросу экономии электроэнергии водоотливными установками . . . . .	163
В.И.БЫЧКОВ, Г.И.ПЕРМИНОВ, А.И.БОНДАРЦ. Анализ характеристик грузопотоков на ленточных конвейерах, питающих конусные дробилки . . . . .	166
В.А.КУЗОВКИН. Перевозка людей ленточными конвейерами по наклонным горным выработкам шахт . . . . .	171
А.Ф.МИХАЙЛОВ, Г.И.ПЕРМИНОВ, Г.Н.БОБРОВ. Производительность забойного конвейера при боковых наклонах в случае образования подпорной стенки . . . . .	178

А.Ф.МИХАЙЛОВ, Г.И.ПЕРМИНОВ, Г.Н.БОБРОВ. Неравномерность натяжения тяговых цепей забойного конвейера при боковых наклонах	183
Б.А.ЛАВКОВСКИЙ, Н.Р.МАСЛЕННИКОВ, Г.И.ПЕРМИНОВ. К синтезу цепного транспортера с динамической муфтой в приводе	188
Г.И.ПЕРМИНОВ. Исследование возможности срыва автоколебаний тягового органа скребкового конвейера возмущением приводной звездочки	191
В.М.КРЧЕНКО, Д.Н.ГЛАЗОВ, В.Д.ЕЛМАНОВ, Н.Р.МАСЛЕННИКОВ. Исследование износа решетчатого става одноцепных скребковых конвейеров	195
Л.Л.ВАЖИНИН. Исследование распространения деформации в сыпучей угольной массе при внедрении снаряда-болванки ограниченного веса	198
А.А.СДОБНИКОВ, Д.Н.ГЛАЗОВ. Межгоризонтальный участковый транспорт людей, материалов и легкого оборудования	200
В.А.МАКЕЕВ, Н.П.БАТРАКОВ, А.Н.КОРШУНОВ, Ю.А.КУРНИКОВ, В.И.НОВИКОВ. Составление дифференциальных уравнений колебаний днищ кузовов шахтных вагонеток при их ударном загрузке	205
В.А.МАКЕЕВ, Н.П.БАТРАКОВ, А.Н.КОРШУНОВ, Ю.А.КУРНИКОВ, В.И.НОВИКОВ. К вопросу распределения сыпучего тела в кузове вагонетки при бункерной загрузке	212
Н.А.ПАДУКОВ, А.Н.КОРШУНОВ. Определение статических нагрузок, воспринимаемых подшипниками колес шахтных вагонеток	216
Л.И.МИНКО. Об аналитическом определении параметров большой модели рабочего органа скребкового конвейера из условий измерения напряжений в сыпучем грузе при адвиговых его деформациях	222
В.Н.ГОРЯЧЕВ, В.И.ИВАНОВ, Л.Л.МОИСЕЕВ, В.И.ФАДДЕЕВ. Некоторые результаты экспериментально-аналитического анализа пневматических сетей рудника Абаканский.	230

КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ  
ВОПРОСЫ ГОРНОЙ МЕХАНИКИ

Сборник научных трудов № 47

-Ответственный редактор Л.МОИСЕЕВ  
Корректор Г.ШЕРИНА

Подписано к печати 7 июля 1972г. ОП 01087 Заказ 301  
Тираж 400 экз. 10п.л. цена 1-10 коп. Тип.КузПИ, г.Кемерово