ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
И ПРОЕКТНЫЙ ИНСТИТУТ ГАЛУРГИИ
ВНИИГ

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО МЕХАНИЗАЦИИ ГОРНЫХ РАБОТ

ЛЕНИНГРАД
1975

gost.e-ecolog.ru

УДК 622.64.622.625.2—182.3(083.53)

Методические рекомендации по механизации горных работ. Аккумулирующие системы типа кузов-донный конвейер (основы расчета). Пинский В. Л. Л., ВНИИГ, 1975, 96 с.

Рассмотрен малоизученный процесс перемещения сыпучих тел ограниченной длины, характерный для работы аккумулирующих горнотранспортных машин (перегружатели, самоходные вагоны, бункерные конвейеры и поезда и др.). Приведены результаты экспериментальных и теоретических исследований. Изложены основные методические положения по расчету показателей работы и выбору рациональных параметров аккумулирующих систем типа кузов-донный конвейер. Приведены необходимые сведения о свойствах соляных пород, характеризующих их как объект транспортирования.

Ил. — 38, табл. — 17, сп. лит. — 48 назв.

ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
И ПРОЕКТНЫЙ ИНСТИТУТ ГАЛУРГИИ
ВНИИГ

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО МЕХАНИЗАЦИИ ГОРНЫХ РАБОТ

Аккумулирующие системы типа кузов-донный конвейер (основы расчета)

Ленинград
1975

ПРИНЯТЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

B – ширина кузова (конвейера);

G – вес насыпного груза в кузове;

Q – производительность разгрузки;

S – площадь поперечного сечения слоя сыпучего;

$V(V_ш)$ – объем сыпучего тела ("шапки");

$f(f_1)$ – коэффициент внутреннего (внешнего) трения;

$h(h_ш)$ – высота слоя сыпучего ("шапки");

K_ℓ, K_B, K_h – относительные размеры сыпучего тела;

$K_Q(K_S, K_f)$ – коэффициент, характеризующий изменение производительности разгрузки (площади поперечного сечения слоя, длительности разгрузки);

$\ell(\ell_н)$ – длина сыпучего тела (расчетная начальная);

$\ell_к(\ell_з, \ell_р)$ – длина кузова (зона загрузки, зона разгрузки);

$\Delta\ell$ – удлинение сыпучего тела;

t – время;

$t_р$ – длительность разгрузки;

V – скорость движения рабочего органа донного конвейера;

$\alpha(\alpha_з, \alpha_р)$ – угол наклона бокового борта (в зоне загрузки, в зоне разгрузки);

β – угол подъема донного конвейера;

$\gamma(\lambda)$ – угол наклона верхней кромки дополнительного объема к плоскости днища (к горизонтальной плоскости);

δ – угол наклона откоса (искусственного, естественного) к плоскости днища;

φ – угол естественного откоса.

Индексы

I(2) справа внизу у символа – кузов простой (сложной) формы;

штрихи справа вверху у символа – различные значения одного и того же показателя;

черта над символом – мгновенное значение показателя;

$max(min$, ср, опт) – максимальное (минимальное, среднее, оптимальное) значение показателя.

ВВЕДЕНИЕ

На калийных рудниках СССР исключительно широкое применение получили самоходные вагоны и бункеры-перегружатели: в 1973 г. ими доставлено около 22 млн.т горной массы, или 54% объема общей добычи (70% объема комбайновой добычи). В настоящее время в эксплуатации находится около 350 вагонов и перегружателей; по предварительным данным, потребность калийной промышленности в этих машинах на 1975-1980 гг. составит 1200 шт. Создаются усовершенствованные самоходные вагоны и перегружатели грузоподъемностью 10 и 15 т , проектируются вагоны и перегружатели грузоподъемностью 20-25 т .

Параметры аккумулирующей системы вагонов и перегружателей оказывают определяющее влияние на показатели работы очистного оборудования. Между тем научно обоснованные методы расчета аккумулирующих систем отсутствуют. До настоящего времени эти системы совершенствуют наименее эффективным способом - экспериментированием (методом "проб и ошибок") на опытно-промышленных и промышленных образцах. В результате возрастают сроки создания машин (вагоны грузоподъемностью 10 и 15 т), а показатели их работы зачастую ухудшаются (например, БП-2 по сравнению с БП-1).

Необходимым условием уверенного проектирования машин является установление взаимосвязи между техническими параметрами машины и показателями ее работы - во-первых и между параметрами машины и характеристиками перерабатываемого ею материала - во-вторых.

Применительно к рассматриваемому оборудованию первая задача была решена обоснованием и разработкой методики расчета производительности комплексов машинной выемки /27/, апробированной в дальнейшем ВО Союзгорхимпром в качестве отраслевой для калийной промышленности. Для решения второй задачи во ВНИИГ был выполнен комплекс теоретических и экспериментальных исследований по аккумулирующим системам и физико-механическим свойствам горной массы, характеризующим ее как объект доставки.

На основе обобщения результатов выполненных исследований разработаны инженерные методы расчета аккумулирующих систем типа кузов-донный конвейер, базирующиеся на установленном механизме процесса, характеристиках трения насыпного груза и, следовательно, приемлемые, для различных горнотранспортных машин (самоходные вагоны, бункеры-перегружатели, передвижные перегружатели, бункерные конвейеры, бункеры-поезда, погрузочно-доставочные машины и др.) и разнообразных насыпных грузов. В совокупности с работой /27/ эти методы позволяют создавать для калийной промышленности самоходные вагоны и перегружатели с рациональными параметрами аккумулирующей системы и обеспечивают разработку параметрических рядов указанных машин, полностью отвечающих условиям их эксплуатации.

Работа выполнена автором во Всесоюзном научно-исследовательском и проектном институте галургии (ВНИИГ) при активном содействии доктора технических наук, проф.Р.С.Пермякова; научный руководитель - доктор технических наук, проф. Я.Е.Кальницкий. В работе участвовали: А.И.Баженов, Т.Н. Баратенко, В.И.Карпухин, Г.В.Лексина, А.Л.Лифшиц, Л.Н. Мюсель.

ГЛАВА I. АККУМУЛИРУЮЩИЕ СИСТЕМЫ ТИПА КУЗОВ-ДОННЫЙ КОНВЕЙЕР

I. Аккумулирующие транспортные установки на калийных рудниках

Все виды аккумулирующих емкостей подразделяют /I0/ на передвижные, полустационарные и стационарные.

Передвижные установки включают в себя самоходные вагоны, перегружатели, погрузочно-доставочные машины, тягачи с прицепом, бункерные поезда и другие горнотранспортные машины, предназначенные в основном для доставки.

К полустационарным установкам относят бункерные конвейеры, размещаемые, как правило, на стыке панельного и магистрального транспорта и предназначенные для сглаживания неравномерности грузопотоков и компенсации перерывов в работе.

Стационарные аккумулирующие емкости, размещаемые в околоствольном дворе, предназначены для сглаживания неравномерности работы подъема.

На калийных рудниках СССР получили распространение самоходные вагоны, передвижные перегружатели и бункеры-перегружатели (табл.I). Целесообразность широкого применения этих машин была установлена сравнительными испытаниями ряда перспективных транспортных схем (табл.2).

Передвижной перегружатель предназначен для приема горной массы от самоходного вагона и последующей дозированной подачи ее на блоковый или панельный конвейер. Он позволяет сократить простои самоходного вагона на пункте разгрузки и обеспечивает равномерную загрузку конвейера при работе на него одного или нескольких комбайнов.

Перегружатель состоит из бункера, цепного дозирующего устройства, донного двуцепного скребкового конвейера и ходовой части. Перед началом разгрузки самоходного вагона машинист вагона включает перегружатель. За время разгрузки вагона (I-I,5 мин.) перегружатель подает часть руды на конвейер, благодаря чему при собственной емкости 8,7 м^3 (I2 т) может применяться с вагонами грузоподъемностью до I5 т .Перегружатель выключается автоматически после полной разгрузки.

Бункер-перегружатель предназначен для приема горной массы от комбайна, накопления ее в количестве, соответствующем емкости самоходного вагона, и последующей быстрой перегрузки ее в вагон. Бункер-перегружатель позволяет производить отбойку руды независимо от местонахождения вагона и резко сокращает простои вагона при загрузке. От обычных перегружателей /I, 9, I9, 40/ он отличается большей емкостью (I0 м^3 и более) и принципом аккумулирования горной массы, который,как и у самоходных вагонов,заключается в накапливании горной массы в загрузочной части и последующем периодическом протягивании

Техническая характеристика передвижных

Показатель
Емкость кузова с дополнительными бортами, $м^3$ .....
Грузоподъемность, т ....
Наибольшая скорость передвижения на горизонтальном участке пути, км/ч:
с грузом .....
без груза .....
Длительность разгрузки, с .....
Высота, мм:
разгрузки .....
передней стенки по верхней кромке ....
Донный конвейер:
тип .....
ширина, мм .....
скорость движения цепи, м/с .....
шаг скребков, мм .....
Характеристика тока .....
Общая установленная мощность, квт .....
в т.ч. электродвигатель донного конвейера, шт х квт ....
Габаритные размеры, мм:
длина .....
ширина .....
высота (с дополнительными бортами высотой 150 мм для вагонов и 250 мм для перегружателей) .....
Масса, т .....

Таблица I

аккумулирующих транспортных установок калийных рудников

Самоходные вагоны			Бункеры-перегружатели			Передвижной перегружатель
4ВС-I0	5ВС-I5	I0ЗС-2Е	БП-I	БП-2	БП-3	ПП-2
7,5	II	9,9	I0	II,5	I3,8	8,7
I0	I5	I0	I3	I5	I5	I2
7,0	7,5	6,5	-	-	-	-
8,0	8,0	7,I	-	-	-	-
45-90	55-II0	50-I00	45	70-80	50-60	I80-240
400-I400	430-I400	I00-I270	I500	I850	I200-I880	I200-I500
II00	I2I2	930	I750	I700	I450	950
Скребковый двухцепной						
900		III8	I000		II00	
0,I5; 0,3		0,I3;0,25	0,25		0,28	
480		н.д.	5I2		5I6	
Переменный, напряжение - 660 В						
90	I27	63	30		20	
Ix20/I0	Ix35/I8	2x8	2xI5		Ix20	
7700	8200	7400	7700	8II0	8I80	7730
2360	2500	2440	2080	2200	2220	2200
I600	I800	I995	2600	2600	I870-2650	2300
I4,5	I7,5	I3,6	6,5	7,22	7,53	6,9

Таблица 2

Результаты промышленных испытаний транспортных схем комплексов машинной выемки /24, 36/

Транспортная схема	Месторождение	Состав комплекса	Этапы отработки камеры: зарубка — длительность, смен	зарубка — трудоемкость, чел.-смен	проходка — коэффициент использования: комплекса	проходка — коэффициент использования: комбайна в комплексе	проходка — затраты времени на вспомогательные операции, ч	проходка — состав бригады, чел.	отгон — длительность, смен	отгон — трудоемкость, чел.-смен
Телескопический конвейер с угловой станцией	Верхнекамское	ПК-8 КТ-I	4	I6	0,58	0,55	I,3	3-4	I0	50
	Старобинское	ПК-I0 КТ-IБ	8	32	0,54	0,52	I,3	4-5	II	49
Самоходный вагон	Верхнекамское	ПК-8, IOSC-2E	I,5	3	0,78	0,44	0,32	2	2	6
Бункер-перегружатель и самоходный вагон	Верхнекамское	ПК-8 БП-I IOSC-2E	I,5	3	0,79	0,76	0,33	3	3	9
	Старобинское	ПК-I0 БП-2 IOSC-2E	3,0	I0	0,5I	0,65	0,43	3	4,5	I3

ее донным конвейером вплоть до заполнения кузова высоким слоем по всей длине.

Бункер-перегружатель состоит из кузова, донного конвейера и ходовой части. Экспериментальный образец перегружателя (БП-I) имел кузов с постоянными углами наклона днища и боковых стенок. В дальнейшем использовали борта и днище с переменным углом наклона (БП-2). Последняя модификация (БП-3) имеет регулируемую высоту разгрузки.

Конструктивной особенностью общеизвестных самоходных вагонов в условиях калийных рудников является подъем кузова или разгрузочного конца донного конвейера.

Введение в состав комплекса бункера-перегружателя обеспечивает независимость производительности комплекса от растояния доставки l при $l \leq L_{кр}$ (рис.I) /27/. Величина этого критического расстояния доставки и производительность комплекса возрастают с увеличением грузоподъемности и уменьшением длительности разгрузки вагонов и перегружателей, а также с увеличением скорости движения вагонов.

В условиях калийных рудников преобладающее влияние на производительность комплексов оказывают грузоподъемность q, а затем длительность разгрузки t_p (рис.2), т.е. параметры аккумулирующей системы вагонов и перегружателей. При длине камеры $L \leq L_{кр}$ q и t_p в одинаковой степени влияют на производительность комплексов. Влияние q и t_p возрастает при реализации существующих тенденций к увеличению технической производительности комбайнов (рис.3).

Поскольку сечения выработок на калийных рудниках в большинстве случаев допускают некоторое увеличение размеров (емкости) кузова и использование вагонов большей грузоподъемности, основное значение приобретают вопросы рациональной компоновки кузова перегружателей и вагонов, обеспечивающей снижение длительности разгрузки, удельный вес которой в общем цикле работы вагона достигает 30-50%.

Фактические значения параметров аккумулирующей системы вагонов и перегружателей достаточно стабильны (табл.3), а

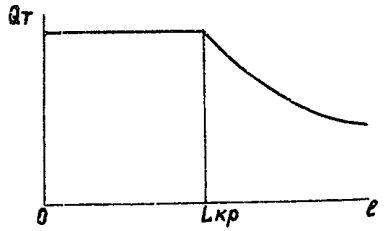


Рис.I. Зависимость технической производительности комплекса комбайн-бункер-перегружатель-самоходный вагон от расстояния доставки ℓ .

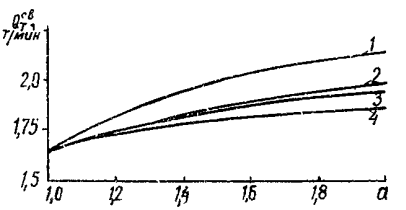


Рис.2. Влияние технических параметров оборудования на производительность комплекса (комбайн ПК-I0, бункер-перегружатель БП-2, самоходный вагон I0ЗС-2Е, длина камеры 250 м).

1 - $Q_т^{св}(aq)$; 2 - $Q_т^{св}(\frac{tp}{d})$;

3 - $Q_т^{св}(aQ_к)$; 4 - $Q_т^{св}(a\upsilon)$.

совокупности их значений в первом приближении подчиняются закону нормального распределения (рис.4). Длительность разгрузки перегружателей возрастает с увеличением угла подъема конвейера и количества горной массы в кузове. Реальная емкость кузова уменьшается с увеличением угла подъема конвейера (рис.5).

Таблица 3

Средние эксплуатационные значения параметров аккумулирующей системы вагонов и перегружателей на калийных рудниках

Параметр	Тип оборудования	Значение параметра	Коэффициент вар. $k_{вар}$,%	Показатель точности ρ, %	Месторождение
Грузоподъемность вагона (бункера-перегружателя) q,	4ВСІОРВ (БП-2)	I0,0	-	-	С
	I0ЗС-2Е (БП-I)	I0,4	8,5	0,3	В
	I0ЗС-2Е (БП-2)	II,0	5,0	I,06	С
	I0ЗС-2Е (БП-3)	II,6	5,I	0,3	С
Длительность разгрузки $t_р$, мин	4ВСІОРВ	I,I	-	-	С
	I0ЗС-2Е	I,5	23,5	2,5	В
	То же	I,2	I9,0	0,83	С
	БП-I	0,77	I9,5	I,7	В
	БП-2	I,35	I2,3	0,53	С
	БП-3	0,92	6,8	0,32	С

Примечание. В - Верхнекамское, С - Старобинское месторождения.

Параметры применяемого в настоящее время транспортного оборудования (БП-2, 4ВСІО, 5ВСІ5) пока не позволяют в полной мере реализовать возможности комбайнов. Коэффициент использования их в комплексе не превышает 0,65 и снижается по мере

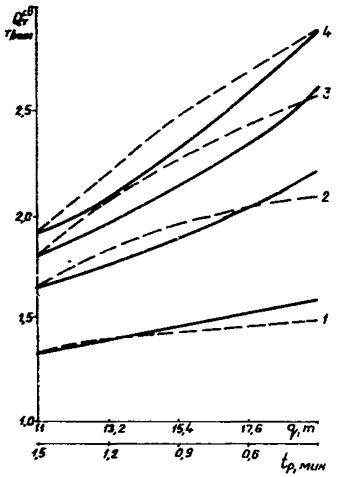


Рис.3. Зависимость средневзвешенной технической производительности $Q_T^{св}$ комплекса от длительности разгрузки $t_р$ и грузоподъемности q вагона при различной технической производительности $Q_к$ комбайна.

I - 100 т/м, 2 - 150 т/ч, 3 - 200 т/ч, 4 - 250 т/ч. Сплошные линии - $Q_T^{св}(t_р)$, прерывистые - $Q_T^{св}(q)$.

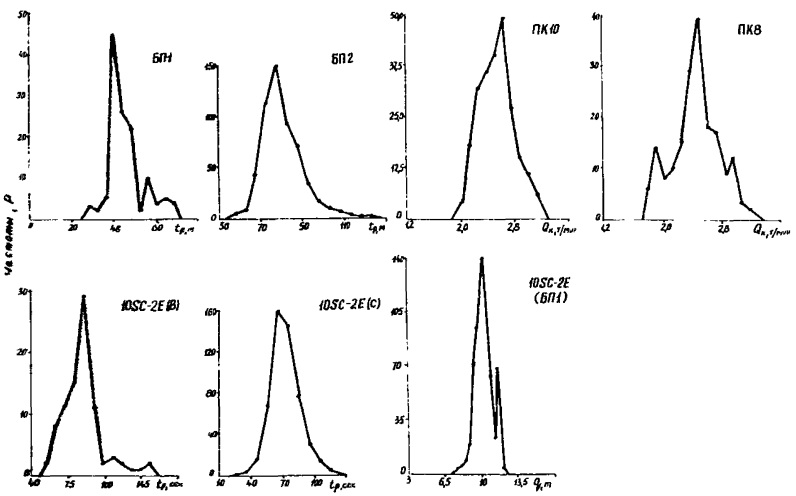


Рис.4. Распределение эксплуатационных значений параметров транспортного оборудования комплексов.

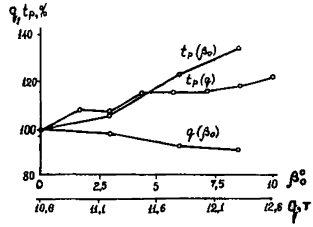


Рис.5. Взаимосвязь длительности разгрузки t_ρ, количества горной массы q в кузове бункера-перегружателя и угла β_0 наклона почвы выработки (по натурным наблюдениям).

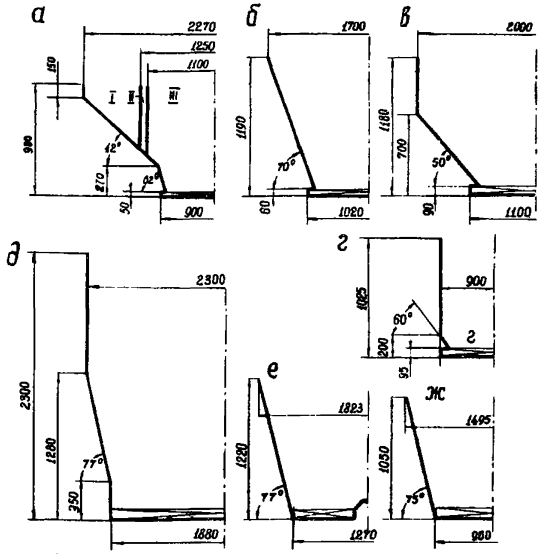


Рис.6. Поперечные сечения кузовов аккумулирующих систем типа КДК.

а - самоходные вагоны (I,II,III - соответственно приемная, средняя и разгрузочная части кузова); б,в - бункеры-перегружатели; г - бункерные поезда; д,е,ж - бункерные конвейеры.

увеличения технической производительности комбайнов. Основные эксплуатационные недостатки оборудования связаны с системой кузов-донный конвейер (табл.4, 5) и заключаются в недостаточной производительности разгрузки бункеров-перегружателей, а также в нерациональной форме кузова самоходных вагонов. В результате длительность их загрузки (табл.4) превышает наименьшую достигнутую (БП-I и IO$C-2E, табл.5) в I,8-2,4 раза.

Таблица 4

Результаты испытаний самоходных вагонов в условиях Старобинского месторождения
(комбайн ПК-IO, бункер-перегружатель БП-2)

Показатели	4BCIO	5BCI5	IO$C-2E
	Гипроуглегормаш, Воронежский завод ГОО		
Среднесменная производительность, т/смену	I98	267	300
Коэффициент использования комбайна в комплексе	0,56	0,65	-
Грузоподъемность, т	IO	I2	II
Длительность, мин			
погрузки	I,8	I,6	I,35
разгрузки	I,I	0,9	I,2
Скорость движения, м/мин			
с грузом	83	90	70
без груза	IOO	IIO	95
Средняя мощность, потребляемая приводом конвейера(I-я скорость), квт	IO	5,0	-

Примечания. Основными эксплуатационными недостатками являются: для вагона 4BCIO - обеспечение паспортной емкости за счет применения дополнительных бортов увеличенной высоты. "Виляние" вагона при движении по выработке. Недостаточная длина и ширина загрузочной части кузова. Большая высота вагона; для 5BCI5 - меньшая на 20% по сравнению с паспортной емкость кузова; для IO$C-2E - меньшая скорость движения вагона. Худшая обзорность.

Таблица 5

Результаты промышленных испытаний бункеров-перегружателей на калийных рудниках

Тип бункера-перегружателя	Месторождение	Состав комплекса	Год	Результаты испытаний			
				коэффициент заполнения вагона грузоподъемностью 10 тс	производительность разгрузки, т/мин	средняя потребляемая мощность при разгрузке, квт	основные эксплуатационные недостатки
БП-1 (экспериментальный образец, Гипроуглемаш)	Верхнекамское	ПК-8 10SC-2E	1965	1,04	13,5	Нет данных	Потеря устойчивости при разгрузке. Недостаточная емкость кузова
БП-2 (опытно-промышленный образец, Пермгипрогормаш)	Верхнекамское	ПК-8 10SC-2E	1966	0,86	6,6	24,2	Недостаточная емкость кузова. Недостаточная загрузка вагона. Низкая производительность разгрузки. Завышенные установленная мощность привода и вес перегружателя
БП-2 (промышленный образец, Пермгипрогормаш)	Старобинское	ПК-10 10SC-2E	1966	1,1	8,2	11,5	Низкая производительность разгрузки. Завышенная установленная мощность привода

Создание промышленных образцов бункеров-перегружателей сопровождалось ухудшением показателей их работы,(табл.5).Несмотря на увеличение скорости движения цепи и ширины конвейера соответственно на I2 и I0%, производительность разгрузки БП-2 по сравнению с БП-I снизилась в I,6 раза; установленная мощность привода перегружателей превышает фактически потребляемую примерно в 2 раза. Эти обстоятельства свидетельствуют об отсутствии научно обоснованных методов выбора параметров системы кузов-донный конвейер, являющейся основным узлом бункеров-перегружателей и самоходных вагонов.

2. Классификация аккумулирующих систем типа кузов-донный конвейер

Передвижные и полустационарные аккумулирующие установки в большинстве случаев имеют аккумулирующую систему типа кузов-донный конвейер (КДК). Сыпучее тело в таких системах формируется чередованием процессов насыпания и перемещения(обычно при постоянном поступлении насыпного груза в кузов),в результате чего насыпной груз заполняет кузов высоким слоем. Отличительной особенностью режима разгрузки аккумулирующих систем является перемещение сыпучих тел ограниченной (конечной) длины.

Наиболее распространены донные конвейеры скребкового типа. В отдельных случаях применяют ленточные, пластинчатые или вибрационные конвейеры. Донные скребковые конвейеры, как правило, двухцепные. Цепи пластинчатые или сварные круглозвенные; шаг скребков 400-500 мм, сечение прямоугольное. Скорость движения тягового органа 0,05-0,3 м/с.

Кузова аккумулирующих систем передвижных и полустационарных установок (рис.6) можно классифицировать:

I) по форме поперечного сечения - прямоугольные, трапециевидные и составные;

2) по изменению формы поперечного сечения по длине кузова - постоянного и переменного поперечного сечения;

3) по наличию торцовой стенки - с торцовой и без торцовой стенки;

4) по углу установки - горизонтальные, наклонные, с переменным углом наклона;

5) по возможности изменения угла установки - с постоянным и регулируемым углом наклона; в последнем случае - всего кузова или его части.

Пределы изменения основных параметров кузовов аккумулирующих систем типа КДК

Длина L, м	6,5-I60
Ширина по донному конвейеру В, м	0,9-I,9
Высота Н, м	0,5-2,3
Угол наклона боковых бортов α, град.	42-90
Угол наклона торцовой стенки δ, град.	0-90
Относительные размеры:	
$\frac{H}{L}$	0,0I5-0,I5
$\frac{H}{B}$	0,25-I,5

В связи с многообразием форм кузовов в отдельных случаях удобна упрощенная классификация. Форма кузова определяется конфигурацией основных его элементов - днища и боковых бортов. Будем считать, что элемент кузова имеет сложную форму, если он образован несколькими плоскостями, и простую форму, если он полностью располагается в одной плоскости. Соответственно кузовом сложной формы будем называть такой, у которой по крайней мере один из элементов имеет сложную форму, в противном случае форма кузова - простая.

Наиболее распространены кузова простой формы (бункерные конвейеры, бункерные поезда, некоторые модели бункеров-перегружателей и самоходных вагонов). Кузова сложной формы характерны для самоходных вагонов и бункеров-перегружателей.

3. Изученность процесса перемещения насыпных грузов высоким слоем и характеристик трения калийной руды

Основные положения теории и расчета конвейерных установок сформулированы в работах /6, II, 28, 37, 38, 43/. Процесс перемещения насыпного груза высоким слоем был исследован профессорами, докторами техн.наук Р.Л.Зенковым /I3/, Ю.И.Михайловым /I9, 20/, кандидатами техн.наук Ю.Д.Гулевитским /7,8/, Г.В.Одноположенко /2I/ и Б.А.Стрекачинским /39/. Установлено, что при перемещении рабочего органа конвейерного типа под завалом, из последнего выносится слой определенной для данных условий ("предельной") высоты; при меньшей высоте завала груз сдвигается сплошным слоем /I9/. Верхний контур поперечного сечения слоя - овальный /I9/ или плоский /7/; угол наклона передней свободной поверхности близок к углу естественного откса/7/.

Предельная высота слоя, определяющая производительность транспортирования, зависит от физико-механических свойств насыпного груза (коэффициенты внешнего и внутреннего трения, крупность и влажность), геометрических параметров кузова (ширина, углы наклона бортов и днища), ширины рабочего органа /I3, I9/, практически не зависит от скорости его движения/I9/ и применительно к скребковому рабочему органу - от высоты и ширины скребков /2I/. Уменьшение угла наклона бортов снижает высоту слоя вплоть до его разрыва по вертикальным плоскостям, совпадающим с торцовыми поверхностями рабочего органа, после чего высота слоя стабилизуется /I9/.

Теоретические исследования позволили предложить методы расчета предельной высоты слоя /I3,I9,39/, определения координат точки погрузки, обеспечивающих необходимое заполнение кузова /39/, а также производительности разгрузки проходческих перегружателей и бункеров-поездов /I9/. Общим для работ /I3, I9/ является рассмотрение располагающегося на рабочем органе насыпного груза как некоторого статически сформировав-

шегося безграничного слоя, параметры которого могут быть определены решением плоской задачи предельного напряженного состояния сыпучей среды. Такой подход дает положительные результаты при решении вопросов перемещения конвейерными транспортными установками непрерывно поступающего груза и формирования высокого слоя в аккумулирующих устройствах. Однако он не может быть распространен на режимы разгрузки аккумулирующих систем, характеризующиеся перемещением сыпучего слоя ограниченной протяженности, так как не учитывает процессы, происходящие в краевых зонах образующегося сыпучего тела.

Наблюдения в промышленных условиях за разгрузкой опытно-промышленных и промышленных образцов аккумулирующих транспортных машин (бункеры-поезда, самоходные вагоны/2I,30,42/) не позволили выявить физико-механическую сущность процесса и предложить соответствующие методы расчета длительности разгрузки. Указывается лишь /42/, что на ее величину влияют грузоподъемность, скорость движения конвейера, форма и размеры кузова и крупность насыпного груза. Замечено также /2I/ происходящее при разгрузке "перераспределение призмы оседания в призму заднего откоса" и последующее уменьшение первоначальной величины угла заднего откоса до некоторого устойчивого значения /39/.

В качестве существенной причины удлинения сыпучего тела отмечается /2I/ зависящее от скорости отставание вышележащих слоев сыпучего. Наряду с этим получены экспериментальные данные, согласно которым скорость практически не влияет на удлинение сыпучего тела; величина удлинения составляет 2% на длине 45 м при изменении скорости в интервале 0,73-2,03 м/с /34/. Относительное снижение высоты слоя в предельном случае, соответствующем равенству коэффициентов внешнего и внутреннего трения, не превосходит 2-2,5% /I9/.

Для определения длительности разгрузки самоходных вагонов до настоящего времени были предложены только эмпирические формулы, основанные на установленной хронометражными наблюдениями (в конкретных условиях Джезказганского и Миргалимсайско-

го месторождений) статистической связи между длительностью разгрузки t_p и паспортной грузоподъемностью G (т) вагона /35/:

$$t_p = 60 + (G - 5)6, \text{ с};$$

или содержанием x(%) негабаритных фракций /I2/

$$t_p = 0,55 + 0,43x - 0,006x^2 \text{ , мин.}$$

Единственной опубликованной работой, относящейся непосредственно к изучению процесса разгрузки сыпучих тел ограниченной протяженности, являются исследования Ю.Д.Гулевитского /8, 37/, проведенные с целью обоснования рациональной геометрии и режимов разгрузки кузова самоходных вагонов;экспериментальная часть была выполнена на стенде (масштаб I:2), обеспечивающем совместное и раздельное изменение углов наклона бортов в загрузочной и разгрузочной части (от 0 до 90^0) и скорости движения цепи конвейера (в интервале 0,083-0,3I2 м/с).Установлено,что разгрузка кускового груза(гранита) сопровождается образованием "зоны сползания" (в загрузочной части кузова), за пределами которой скорости поступательного движения частиц приближаются к скорости скребковой цепи, а движение массы груза носит упорядоченный характер; средняя производительность разгрузки изменяется прямо пропорционально скорости движения рабочего органа /8/. Максимально допустимая скорость движения скребковой цепи определена экстраполяцией и составляет 0,37 м/с; рекомендованы углы наклона бортов в пределах $45-60^0$. Полученные результаты относятся к конкретному насыпному грузу и не учитывают влияние ширины и угла подъема конвейера - т.е. параметров, определяющих, как показано рядом исследований /I3, I9, 20, 39, 42/, степень заполнения кузова, высоту слоя, производительность, а, следовательно, и длительность разгрузки.

Анализ исследований показал, что относительно изученными (как теоретически, так и экспериментально) можно считать вопросы перемещения высокого слоя неограниченной дли-

ны и его формирования при загрузке. Перемещение по кузову рабочим органом конвейерного типа сыпучих тел ограниченной длины, характерное для работы аккумулирующих систем транспортных установок в режиме разгрузки, теоретически не изучено; в экспериментальных работах /8, 21/ не была исследована качественная сторона процесса, а количественные рекомендации по рациональной форме кузова /8/ недостаточно увязаны с физико-механическими свойствами грузов и поэтому имеют частное значение.

Выполненные до настоящего времени исследования физико-механических свойств калийных солей, характеризующих их как объект транспортирования, относились главным образом к конечному продукту [1] (концентрат, смешанные удобрения) /22/; приводимые в отечественной и иностранной научно-технической литературе сведения о калийных рудах /17, 46, 48/, а также пищевых солях /4, 13, 17, 48/ неполны и недостаточно детализированы.

Общеизвестная изменчивость характеристик трения насыпных грузов связана главным образом с крупностью частиц, влажностью и степенью уплотнения /4, 13,15,22,32,46/. Изученность величины и пределов изменения указанных факторов на калийных рудниках ограничивается гранулометрическим составом горной массы.

До настоящего времени не установлено влияние динамических нагрузок, возникающих при движении самоходных вагонов по неровной почве горных выработок, на степень уплотнения транспортируемого груза, увеличение которого, согласно работе /13/, повышает начальное сопротивление сдвигу и коэффициент внутреннего трения. Величина и пределы изменения влаж-

---

[1] Механизация транспортных работ на калийных рудниках до последнего времени развивалась путем заимствования из угольной и горнорудной промышленности, последующих испытаний и постепенного совершенствования в процессе эксплуатации наиболее подходящих образцов машин.

ности приобретают особое значение в связи с повышенной гигроскопичностью калийных солей /22/.

По классификации А.Ф.Лебедева /I8/, влага в породах может присутствовать в виде химически связанной, молекулярной (гигроскопической и пленочной) и гравитационной воды. При рассмотрении процесса поглощения влаги несцементированной смесью частиц отмечают его в целом направленный характер: вначале происходит связывание свободных валентностей на поверхности частицы с образованием водных пленок, а затем постепенное заполнение капилляров и появление гравитационной воды /22/. При транспортировании в шахтных условиях для насыпных грузов характерна молекулярная влажность. Уменьшение ее с увеличением крупности частиц /4, I3, I8/ дает возможность оценивать влажность рядового насыпного груза по влажности входящих в него мелких фракций, однако, подобная оценка является приближенной и не позволяет судить о допускаемой при этом погрешности.

Для многих сыпучих материалов с увеличением крупности частиц коэффициент внутреннего трения возрастает, а коэффициент внешнего трения убывает /4/. Относительно характера зависимости угла естественного откоса от крупности частиц единого мнения нет, а экспериментальные данные, относящиеся практически к одному и тому же диапазону крупности горной массы (0-50-I00 мм), отличаются противоречивостью (рис.7). Некоторые исследователи /I6, 20, 32/ отмечали увеличение угла естественного откоса с ростом крупности частиц, другие /4, 33/ фиксировали его уменьшение; указывали также на зависимость более сложного вида /4I/ и на ее отсутствие в узком интервале крупности /47/; в отдельных случаях различный вид зависимости отмечали для одного и того же материала/4,4I/.

Насыпной вес калийных руд традиционно принимается равным I,4-I,5 т/м^3, однако, эти цифры не согласуются с результатами эксплуатации новых горных машин (самоходные вагоны, перегружатели), указывающими на меньшие значения этого показателя.

Таким образом, до настоящего времени отсутствуют достоверные данные о действительной величине и пределах изменения характеристик калийных руд как объекта транспортирования; недостаточно изучена взаимосвязь влажности и величины угла естественного откоса с крупностью частиц.

ГЛАВА II. ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СОЛЯНЫХ ПОРОД В СЫПУЧЕМ СОСТОЯНИИ

I. Влажность, слеживаемость и абразивность

Калийные руды не содержат внешней влаги и относятся к воздушно-сухим грузам. Естественная влажность сильвинитов и каменной соли составляет 0,3 и 0,4%, влажность глинистых прослоев в 30-40 раз выше /I4/. Влажность только что отбитой руды (0,25-0,35%) соответствует естественной и практически не изменяется на протяжении доставки (табл.6). В дальнейшем,при транспортировании конвейерами влажность горной массы несколько возрастает, однако,по данным многолетних наблюдений в среднем не превышает 0,8-I,0%.

Таблица 6

Влажность калийной руды при доставке

Расстояние доставки, м	Относительная влажность воздуха, %		Средняя влажность проб,%	
	в устье камеры	в забое	конвейер комбайна	вагон при разгрузке
20	75	76	0,3I	0,34
90	75	75	0,35	0,25
230	75	76	0,32	0,32

Аналогично другим сыпучим материалам влажность калийной руды уменьшается с увеличением крупности частиц. Это

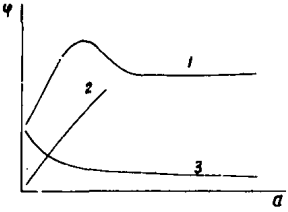


Рис.7. Типы кривых зависимости угла естественного откоса φ от крупности a частиц сыпучего.

I - апатитовая руда /4I/; 2 - обожженный доломит /I6/; 3 - апатитовая руда /4/, дробление породы Ново-Усятского закладочного карьера, горелые дробленые породы с отвалов шахт, дробленые песчаники /33/.

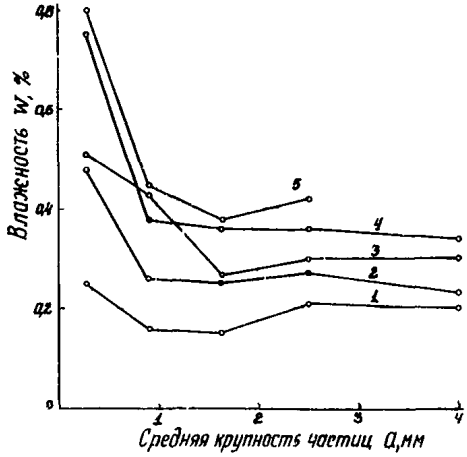


Рис.8. Зависимость влажности калийной руды от крупности частиц при различном времени хранения в условиях очистной камеры.

Время хранения, мин.: I - I0, 2 - 30, 3 - 60, 4 - I20, 5 - I80.

позволяет оценивать влажность горной массы рядового состава по влажности входящих в нее мелких фракций. Необходимую крупность пробы, позволяющей определить влажность смеси с заранее заданной точностью, можно рассчитать по следующим формулам /25/:

при $c \neq I$

$$a_m = a_n [d\, q^{n(1-c)} + 1 - d\,]^{\frac{1}{c-1}} ; \qquad (П\text{-}I)$$

при $c = I$

$$a_m = a_n\, q^{d\,n} , \qquad (П\text{-}2)$$

где

$$n = \frac{\ell g\, a_n\, q - \ell g\, a_1}{\ell g\, q} ;$$

a_m – крупность наибольших частиц в пробе, мм; a_n – крупность наибольших частиц в горной массе, мм; a_1 – основание шкалы сит, мм; q – модуль шкалы сит; c – показатель степени в уравнении гранулометрической кривой; d – допустимая относительная погрешность определения влажности.

В частности, для горной массы при машинной выемке, полагая a_n = I25 мм; a_1 = 0,074 мм; $q = \sqrt{2}$; c = 0,4; d = 0,I, получаем $a_m \approx$ 2,6 мм.

Отличительной особенностью соляных пород является их повышенная гигроскопичность – способность поглощать влагу из окружающей среды. В наибольшей степени это качество присуще мелким фракциям (рис.8). Рассолы, образующиеся на покрытых соляной пылью металлических поверхностях горнотранспортных машин, вызывают их ускоренную коррозию и снижают срок службы оборудования.

Еще одно характерное свойство калийных руд – слеживаемость – практически не проявляет себя при эксплуатации транспортных машин. Специальные измерения, проведенные ВНИИГ, не выявили изменения мощности, потребляемой двигателем скребко-

вого конвейера самоходного вагона, после хранения в нем горной массы в течение I8 ч. Однако при аккумулировании горной массы в рудоспусках слоем более 8-I0 м слеживаемость наблюдается уже через 3-4 ч хранения.

Динамические нагрузки, возникающие при движении самоходных вагонов по неровной почве горных выработок, не вызывают уплотнения горной массы. Уровень и форма свободной поверхности руды в мерных сосудах, установленных на вагоне, оставались постоянными после перемещения вагона на расстояние до 980 м со средней скоростью до 6,7 км/ч. В то же время при контрольном встряхивании вручную величина коэффициента уплотнения достигала I,2.

Таким образом, при доставке характеристики трения калийной руды можно считать неизменными по факторам "влажность" и "уплотнение" и определять в условиях естественной влажности и свободной насыпки при давлениях, соответствующих действительной высоте слоя.

Калийные руды в целом относятся к наименее абразивным горным породам (I класс по шкале Л.И.Барона и А.С.Кузнецова) и по этому фактору не ограничивают номенклатуру применяемых горнотранспортных машин. Наибольшей абразивностью отличаются породы Предкарпатского месторождения (табл.7). Их абразивность превышает аналогичные показатели для Верхнекамского и Старобинского месторождений примерно в I0-20 раз, а при включениях аргиллита - в I00 раз.

Отсутствие острых кромок у кусков (особенно при выемке калийных руд комбайнами) обеспечивает сравнительно высокую стойкость конвейерных лент, шин самоходных вагонов. Например, срок службы шин на калийных рудниках в 3-4 раза превышает этот показатель на других месторождениях, разрабатываемых с использованием самоходного безрельсового транспорта.

Таблица 7

Значения показателя абразивности соляных пород /5/

Месторождение	Порода, пласт, горизонт	Средняя величина показателя абразивности, мк
Верхнекамское	Сильвинит красный, пласт Кр.-П	0,7I
	Сильвинит пестрый	7,4
Старобинское	Сильвинит, пласт П горизонта	3,3
	Галит, пласт П горизонта	6,5
Предкарпатское	Каинит с незначительным включением аргиллита	30,5-63
	Каинит с включениями аргиллита 40-60%	2I5-3I4

2. Гранулометрический состав, крупность и форма частиц

Горная масса калийных рудников является рядовым насыпным грузом.

При машинной выемке (табл.8) крупность наибольших частиц не превышает I50 мм; насыпной груз относится к категории среднекусковых. Основной объем составляют частицы крупностью менее 50 мм - 9I-99%. Количество частиц крупностью менее I0 мм - 45-78%, менее 0,8 мм - I6-32%.

При буровзрывном способе выемки крупность наибольших кусков превышает 600 мм, насыпной груз относится к категории крупнокусковых. Основной объем составляют частицы крупностью менее I50 мм - 90%, в том числе менее I0 мм - 48%, менее I мм $\approx$ I5%.

Горная масса при машинной выемке более однородна по крупности, но содержит значительное количество мелких фракций. Гранулометрические кривые горной массы для основной группы комбайнов мало отличаются друг от друга (рис.9).

Таблица 8

Гранулометрический состав (%) горной массы на калийных рудниках (по результатам испытаний комбайнов и отчетным данным)

Крупность частиц, мм	Машинная выемка						Буровзрывная выемка
	ШБМ-2	ПК-8	ПК-10	Урал 10КС	Караганда 7/15М	Урал-20КС	
	Старобинское месторождение				Верхнекамское месторождение		
	1РУ	2РУ	1РУ		БКПРУ-2	БКПРУ-1	
0-0,074	2,73	3,03	2,44	6,38	2,1	3,4	9,0
+0,074-0,25	4,94	6,14	9,23		11,1	8,6	
+0,25-0,5	6,36	7,37	8,12	3,83		9,5	
+0,5-0,8	5,84	5,23	12,39	5,53	5,1*	10,1*	18,3
+0,8-2,0	1,91	6,35	9,03	6,59	8,9**	16,6**	
+2,0-3,0	9,34	5,9	4,73	6,59	6,5	7,5	20,6
+3,0-5,0	8,53	8,74	12,65	7,23	8,7	9,7	
+5-7	6,95	5,25	5,9	7,22	16	13,2	
+7-10	8,66	6,5	6,76	7,91			
+10-25	24,28	23,06	21,97	47,28	19,6	21,4	33,0
+25-50	14,55	13,75	6,48		20,8		
+50-85	5,91	8,68	0,30	1,44	1,2	-	9,6
+85-150							
+150-600	-	-	-	-	-	-	8,4
+600	-	-	-	-	-	-	1,1

* крупность частиц 0,5-1,0 мм;

** крупность частиц 1,0-2,0 мм.

При аппроксимации их степенной функцией вида

$$P(a_i) = \gamma\, a_i^{c} + \ell$$

показатель степени c изменяется в узких пределах и составляет 0,35-0,45; лишь для комбайнов типа "Урал-20КС" и ПК-10 его величина снижается до 0,25.

Содержание частиц различной формы в горной массе при машинной выемке представлено в табл.9. Помимо общепринятой классификации по шести типовым формам /3/, сами формы разделены на 3 группы по степени убывания подвижности кусков на откосе сыпучего. К наиболее подвижной I группе отнесены куски кубообразной и столбчатой формы, имеющие, по крайней мере, одно сечение, близкое к квадрату.

Таблица 9

Содержание частиц различной формы по фракциям,%

Группа	Форма частиц	Фракция, мм					
		0-0,8	+0,8-3	+3-6	+6-10	+10-25	+25-50
I	Кубообразная	Не более	20,6	19,3	12,7	4,6	0,7
	Столбчатая	10	39,2	23,4	24,7	20,0	6,7
			59,8	42,7	37,4	24,6	7,4
II	Плитчатая	Не менее	16,1	27,3	24,0	32,6	63,3
	Удлиненно-плитчатая	20	21,4	30,0	38,0	37,4	25,3
			37,5	57,3	62,0	70,0	88,6
III	Пластинчатая	Не менее	1,8	-	-	4,0	4,0
	Удлиненно-пластинчатая	70	0,9	-	0,6	1,4	-
			2,7	-	0,6	5,4	4,0

Значительное содержание кусков III группы (около 70%) наблюдается лишь для фракции 0-0,8 мм. В дальнейшем при крупности более 0,8 мм преобладают куски кубообразной, столбчатой, плитчатой и удлиненно-плитчатой формы (I и II группы); количе-

ство кусков III группы пренебрежимо мало и составляет в зависимости от крупности 0-4%.

Наибольшее количество кусков I группы - около 60% - содержится во фракции 0,8-3 мм. С увеличением крупности в горной массе начинают преобладать куски II группы, содержание которых во фракции 25-50 мм достигает 90%. По смещению группы преобладающих кусков на полях дисперсии отчетливо прослеживается закономерный переход от кубообразной и столбчатой к плитчатой и удлиненно-плитчатой форме /24/. Согласно этому изменяются и численные характеристики формы куска (табл.I0). Относительная ширина C^I, показывающая степень близости поперечного сечения куска к квадрату ($C' = I$), уменьшается от 0,7I до 0,46, а показатель Δ, характеризующий степень близости к кубу ($\Delta = I$), возрастает с 2,0I до 2,74. Таким образом, с увеличением крупности форма и поперечное сечение среднего куска все более отличаются от куба и квадрата, а подвижность частиц на откосе сыпучего уменьшается.

Таблица I0

Численные характеристики формы куска

Фракция, мм	Средняя ширина В куска, мм	Численная характеристика формы куска	Показатель расхождения размеров куска
+0,8-3	I,84	I,43:I:0,7I	2,0I
+3-6	4,09	I,35:I:0,67	2,0I
+6-I0	8,47	I,46:I:0,66	2,2I
+I0-25	I8,I	I,40:I:0,54	2,59
+25-50	37,8	I,28:I:0,46	2,78

Примечание. Относительные размеры частиц определяли по формулам:

$$a' = \frac{a}{b}; \quad b' = \frac{b}{b} = 1; \quad c' = \frac{c}{b}.$$

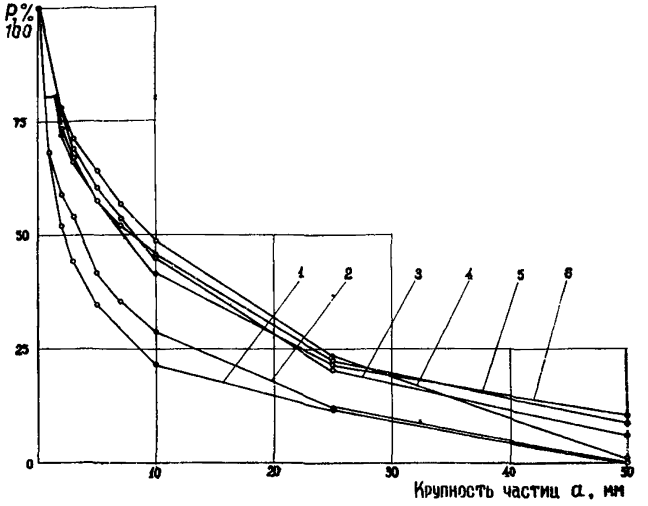


Рис.9. Гранулометрические кривые горной массы при машинной выемке.

Тип комбайна: I - "Урал-20КС"; 2 - ПК-10; 3 - ШБМ-2; "Урал-10КС"; 5 - "Караганда-7/15М"; 6 - ПК-8.

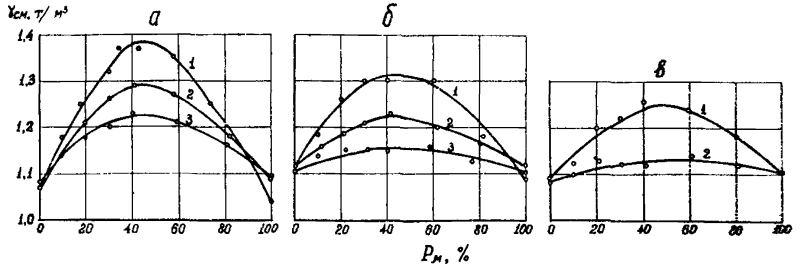


Рис.10. Изменение насыпного веса двухкомпонентной смеси $\gamma_{см}$ в зависимости от содержания $P_м$ мелкой фракции.

I - 0,8-3 мм; 2 - 3-6 мм; 3 - 6-10 мм. Крупная фракция, мм: а - 25-50, 2 - 10-25, 3 - 6-10.

3. Насыпной вес

Машинный способ выемки по сравнению с буровзрывным обусловливает большее разрыхление горной массы и в результате меньшие значения ее насыпного веса. Для типовой смеси, соответствующей среднему фракционному составу горной массы при машинной выемке (табл.8) насыпной вес $\gamma = 1{,}35$ т/см^3. Для отдельных фракций (0,8-3, +3-6, +6-10, +10-25 и +25-50 мм) насыпной вес изменяется в сравнительно узких пределах и составляет 1,04-1,12 т/м^3.

Насыпной вес двухкомпонентных смесей $\gamma_{см}$, составленных из указанных фракций, по мере увеличения содержания мелкой фракции возрастает от значений $\gamma_{см} = \gamma'_{см}$, соответствующих насыпному весу крупной фракции, до некоторого предельного значения $\gamma_{см} = \gamma'_{см}$, а затем убывает до значений $\gamma_{см} = \gamma_{м}$ (рис.10). Для всех исследованных смесей предельное значение $\gamma'_{см}$ достигается при среднем содержании мелкой фракции $P_{м} = 49\%$ ($K_{взр} = 5{,}5\%$). Величина $\gamma'_{см}$ зависит от отношения $a_к : a_м$ размеров частиц крупной и мелкой фракций и с увеличением его возрастает по логарифмическому закону (рис.11).

Насыпной вес двухкомпонентной смеси может быть рассчитан по следующей формуле:

$$\gamma_{см} = \gamma_{ф}\left(1 + P_к P_м \lg \frac{a_к}{a_м}\right), \qquad (П\text{-}3)$$

где $\gamma_{ф}$ - среднее значение насыпного веса фракций (в данном случае $\gamma_{ф} = 1{,}08$ т/м^3); $P_к$, $P_м$ - относительное содержание крупной и мелкой фракций ($P_к + P_м = 1$).

Уравнение предельных значений насыпного веса двухкомпонентных смесей (рис.11) является очевидным следствием формулы (П-3). При $P_к$ и $P_м \to 0$ или $a_к \to a_м$ $\gamma_{см} \to \gamma_{ф}$; при $a_м \to 0$ значения $\gamma_{см}$ возрастают, однако, рост этот в реальных пределах изменения $a_к$ и $a_м$ ограничен соответствующим уменьшением $\gamma_м$ в результате увеличения коэффициента разрыхления. Погрешность значений $\gamma_{см}$, рассчитанных по формуле (П-3), не превышает +5% в исследованной области.

Насыпной вес горной массы при буровзрывном способе выемки предварительно следует принимать равным I,4-1,5 т/м^3.

Коэффициент разрыхления горной массы, по данным ИГД им. А.А.Скочинского о величине объемного веса калийных руд, следует принимать: при машинном способе - I,6, при буровзрывном - I,4-I,5.

4. Коэффициенты внешнего и внутреннего трения

Коэффициент внешнего трения характеризует сопротивление, оказываемое насыпным грузом перемещению его по опорной поверхности. С увеличением крупности фракции коэффициент внешнего трения калийной руды (по стали) закономерно уменьшается, изменяясь более резко для частиц крупностью 0-6 мм и стремится к значениям коэффициента внешнего трения монолитного образца (рис.I2). В зависимости от размера частиц величина коэффициента внешнего трения составляет 0,377-0,432 по стали и 0.32-0,347 по стеклу (табл.II). Для типовой смеси он равен 0,396 и практически совпадает с общей средней по всем фракциям(0,395). Сравнительно узкий интервал изменения величины

Таблица II

Средние значения характеристик трения калийной руды

Крупность руды, мм	Коэффициент внешнего трения f_1		Коэффициент внутреннего трения f
	по стали f_1'	по стеклу f_1''	
0-0,8	0,432	0,347	0,809
+0,8-2	0,4I4	-	0,9I5
+2-3	0,405	-	0,900
+3-6	0,386	0,328	0,924
+6-I0	0,377	-	I,020
+I0-I5	0,374	0,322	-
+I5-25	0,37I	-	-
+25-50	0,377	0,320	-
0-50	0,396	0,325	-

- 34 -

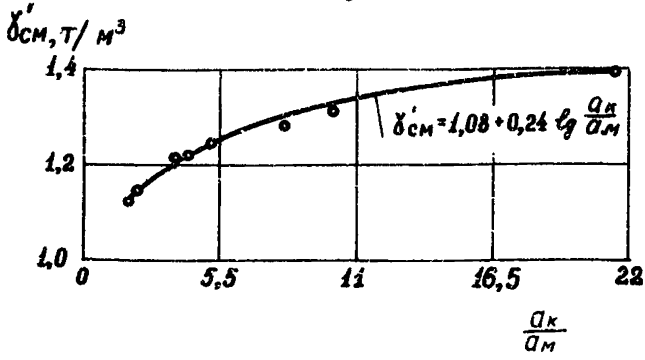


Рис.II. График предельных значений насыпного веса $\gamma_{см}$ двухкомпонентных смесей.

$a_к$, $a_м$ - соответственно размеры частиц крупной и мелкой фракций.

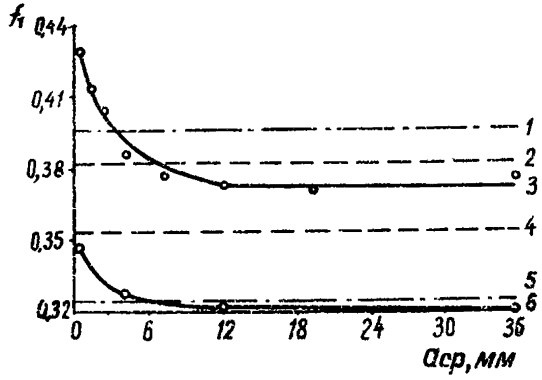


Рис.I2. Коэффициент внешнего трения f_1 типовой смеси по стали и стеклу (1,5), монолитного образца с необработанной и полированной поверхностью по стали (2,4) и фракций различной крупности ($a_{ср}$) по стали и стеклу (3,6).

коэффициента внешнего трения позволяет в рассмотренных условиях принимать его постоянным: 0,4 по стали и 0,33 по стеклу. Коэффициент внешнего трения монолитных образцов равен 0,38 при необработанной и 0,35 при полированной поверхности трения.

Характер зависимости f_1 (a) для калийной руды и других насыпных грузов одинаков. Это обеспечивает принципиальную возможность использования ранее установленных переходных формул между коэффициентами внешнего трения по различным материалам. При ориентировочных инженерных расчетах можно принимать /4/

$$f_{1g} = 1{,}32\, f_1' \quad ; \quad f_{1p} = 1{,}58\, f_1' \,,$$

где f_1', f_{1g}, f_{1p} – соответственно коэффициенты внешнего трения по стали, дереву и резине.

В частности, расчетное значение $f_{1p} = 1{,}58 \times 0{,}4 = 0{,}632$ совпадает с экспериментально определенным /13/ его значением для поваренной соли – 0,63.

Коэффициент внутреннего трения характеризует прочность сыпучего тела и определяется трением частиц друг о друга и их взаимным сцеплением. С увеличением крупности частиц коэффициент внутреннего трения калийной руды возрастает (рис.13) и для фракций – 10 мм $f = 1$ (табл.11). Отсутствие начального сопротивления сдвигу (рис.14) позволяет отнести горную массу к хорошо сыпучим грузам /2/.

5. Угол естественного откоса

Угол естественного откоса φ характеризует подвижность частиц насыпного груза и определяет условия предельного равновесия на свободной поверхности сыпучего тела. Для типовой смеси, соответствующей среднему фракционному составу горной массы при машинной вынемке (табл.8), $\varphi = 39^0$.

Угол естественного откоса двухкомпонентной смеси изменяется в интервале, ограниченном значениями $\varphi_к$ и $\varphi_м$ соответственно для крупной и мелкой фракций. В зависимости от содержания мелкой фракции можно различить (рис.15) две кра-

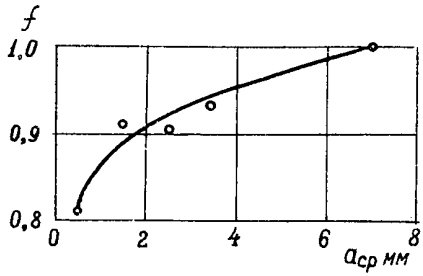


Рис.I3. Изменение коэффициента внутреннего трения f в зависимости от средней крупности частиц $a_{ср}$.

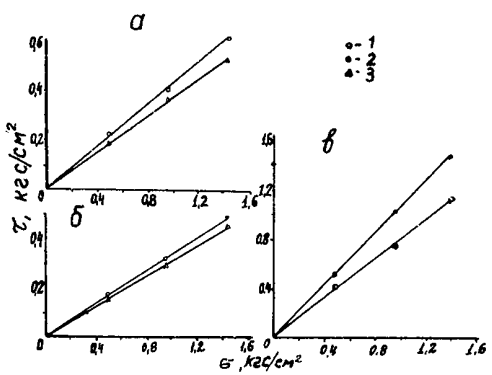


Рис.I4. Вид диаграмм σ-τ при определении коэффициентов внешнего (f_1) и внутреннего (f_2) трения.

а - коэффициент внешнего трения по стали; б - по стеклу; в - коэффициент внутреннего трения. Фракции, мм: I - 0-0,8, 2 - 6-I0, 3 - 25-50.

евые зоны, в которых $\varphi_{см} \approx \varphi_к$ и $\varphi_{см} \approx \varphi_м$ и среднюю переходную зону, в которой $\varphi_к > \varphi_{см} > \varphi_м$ С увеличением отношения $a_к : a_м$ средних размеров частиц крупной ($a_к$) и мелкой ($a_м$) фракций переходная зона смещается в направлении большего содержания частиц мелкой фракции.

Аналогично изменяются значения $\varphi_{см}$ и для смесей, составленных на основе фракций +25-50 мм(мелкая фракция +0,8-3, +3-6 и +6-I0 мм) и +6-I0 мм (мелкая фракция +0,8-3 и +3-6 мм). В исследованном диапазоне $a_к : a_м$ = I,8÷2I,5 изменение критического содержания мелкой фракции $P_м^{кр}$ определяющего переход от $\varphi_{см} \approx \varphi_к$ к $\varphi_{см} \approx \varphi_м$, представляет собой асимптотическое приближение к некоторому предельному значению, равному примерно 40% (рис.I6). Такой характер взаимосвязи $\varphi_{см}$ с $\varphi_к$ и $\varphi_м$ в первом приближении может быть объяснен постепенным заполнением порового пространства и нарушением структурных связей между частицами крупной фракции при определенном критическом содержании заполнителя.

Величина угла естественного откоса отдельных фракций различна (табл.I2). Наибольшее значение φ имеет фракция 0-0,8 мм, наименьшее - фракция +0,8-3 мм. С увеличением крупности фракции от +0,8-3 до +25-50 мм величина угла φ закономерно возрастает. Экстремальный характер φ (a) качествен-

Таблица I2

Угол естественного откоса φ^o

Фракция, мм	Диаметр мерного цилиндра, мм			
	I00	200	300	400
0-0,8	42,7	42,I	4I,3	4I,4
+0,8-3	34,6	32,8	32,9	32,8
+3-6	36,7	33,4	34,0	34,I
+6-I0	39,I	36,4	35,8	35,0
+I0-25	37,4	35,3	36,4	36,7
+25-50	Зависание руды	37,4	38,7	38,4

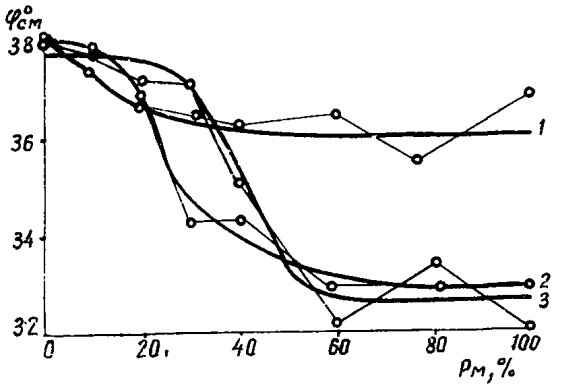


Рис.I5. Зависимость угла естественного откоса $\varphi_{см}$ двухкомпонентной смеси от содержания мелкой фракции $P_м$.

I - I0-25 и 6-I0 мм; 2 - I0-25 и 3-6 мм; 3 - I0-25 и 0,8-3 мм.

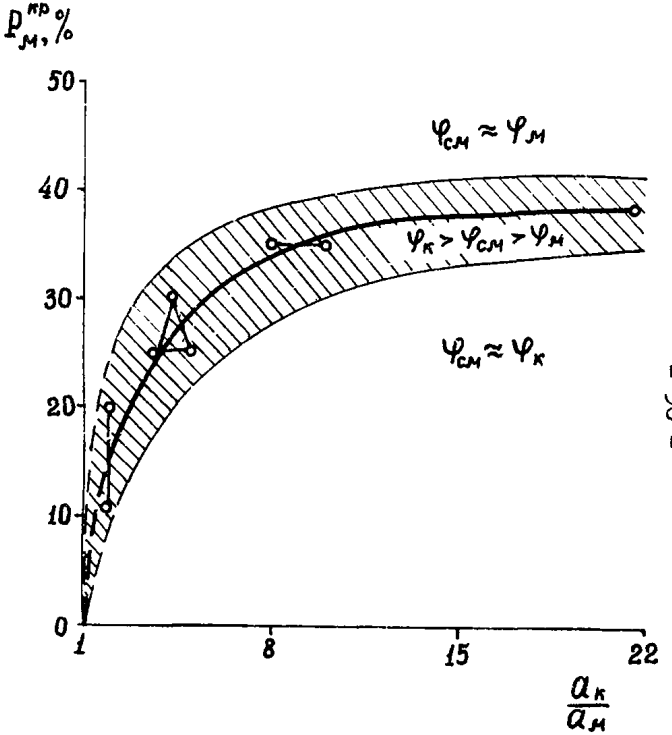


Рис.I6. Зависимость критического содержания мелкой фракции $P_м^{кр}$ в двухкомпонентной смеси от отношения $\frac{a_к}{a_м}$ (заштрихована переходная зона).

но одинаков для всех диаметров мерных цилиндров (рис.17) и не обусловлен изменением минералогического состава или влажности фракций /26/. Вместе с тем зависимость φ (а) достаточно хорошо согласуется с данными табл.9 о содержании частиц различной формы в тех же фракциях. Фракция 0-0,8 мм, имеющая наибольшую величину $\varphi = 41,4^0$, составлена главным образом из наименее подвижных частиц, относящихся ко II и III группам (не менее 90%). Во фракции +0,8-3 мм, для которой величина $\varphi = 32,8^0$ наименьшая, преобладают наиболее подвижные частицы I группы - 59,8%. При переходе к более крупным фракциям количество кусков I группы уменьшается (до 7,4%), а количество менее подвижных частиц II группы увеличивается (до 88,6%); соответственно возрастает и угол естественного откоса (до $38,4^0$ - для фракции +25-50 мм). При этом угол естественного откоса фракций +25-50 мм, где преобладают относительно более подвижные частицы II группы, меньше угла естественного откоса фракции 0-0,8 мм, составленной наименее подвижными частицами III группы.

Таким образом, форму частиц можно рассматривать как наиболее существенный фактор, определяющий вид зависимости угла естественного откоса от крупности частиц. В этом случае, в отличие от сложившихся представлений, частицы одной и той же крупности, но различной формы будут иметь разные углы естественного откоса, причем для частиц I, II и III групп его значение должно быть соответственно наименьшим, некоторым средним и наибольшим, а частицы одной и той же группы (формы), независимо от их крупности, должны иметь близкие углы естественного откоса.

Сопоставление значений φ для частиц I, II и III групп одной и той же крупности +25-50 мм, приведенных в табл.13, с данными табл.9 и 12 подтверждает эти предположения: углы естественного откоса сыпучего, представленного частицами одной и той же крупности, но разной формы, оказались существенно различными ($34-9^0$ - I группа, $43,8^0$ - III группа); в то же время углы естественного откоса для частиц различной крупности, но одинаковой формы близки между собой (фракция 0-0,8 мм и III группа кус-

ков фракции +25-50 при соотношении размеров I:70; фракция +0,8-3 мм и I группа кусков фракции +25-50 при соотношении размеров I:20).

Таблица I3

Углы естественного откоса φ° для фракции +25-50 мм при различной форме частиц

Форма	Группа	Угол естественного откоса φ°
Кубообразная Столбчатая	I	34,9
Плитчатая Удлиненно-плитчатая	II	40,2
Пластинчатая Удлиненно-пластинчатая	III	43,8

Таким образом, наблюдаемое изменение φ для различных фракций связано с изменением формы составляющих их частиц, и для калийных руд с естественной влажностью величина угла естественного откоса практически не зависит от крупности горной массы. С достаточной вероятностью это может быть отнесено и к другим породам. Известным подтверждением являются данные работы /29/, согласно которым песок и круглая галька с соотношением размеров I:50 имеют примерно одинаковый угол естественного откоса - соответственно 30-35 и 30°; в то же время для граненой гальки $\varphi = 45^{\circ}$.

Определяющее влияние формы частиц, установленное экспериментально, дает возможность прогнозировать величину угла естественного откоса для крупнокусковых грузов.

В табл.I4 приведены усредненные характеристики калийной руды как объекта транспортирования.

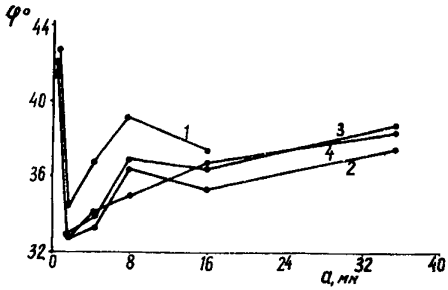


Рис.17. Зависимость угла естественного откоса калийной руды от крупности частиц при разных диаметрах мерного цилиндра.

Диаметр цилиндра,мм: 1 - 100, 2 - 200, 3 - 300, 4 - 400.

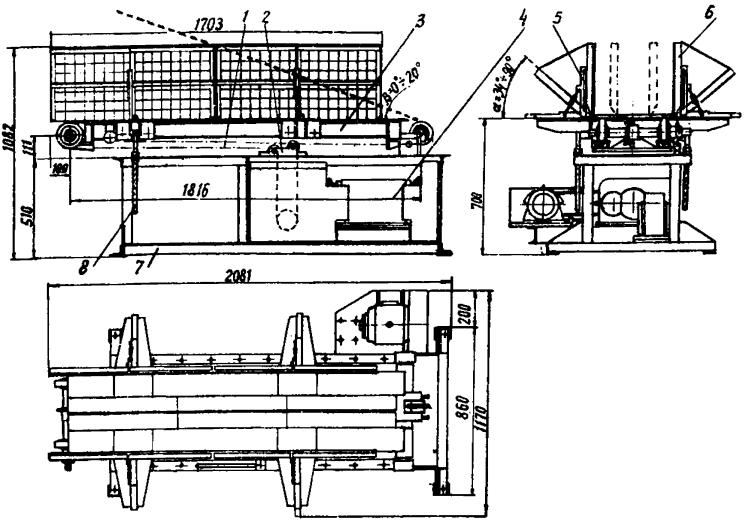


Рис.18. Модельный стенд аккумулирующей системы типа кузов-донный конвейер.

1 - приводная цепь; 2 - натяжное устройство; 3 - конвейер; 4 - привод; 5 - кронштейн; 6 - борт; 7 - рама; 8 - винт.

Таблица I4

Усредненные характеристики калийных руд как объекта транспортирования
(числитель - машинный, знаменатель - буровзрывной способ выемки)

Показатель	Месторождение		
	Верхнекамское	Старобинское	Предкарпатское
Коэффициент крепости по М.М.Протодьяконову*	I,8I	2,I	3,06
Дробимость*			
V, $см^3$	23,8	2I,2	I2,3
$tg\alpha$, град.	0,83	0,8	0,57
Абразивность /5/	4,0	4,9	I72
Объемный вес, $г/см^3$ *	2,I2	2,I6	2,24
Насыпной вес, $т/м^3$	- / I,4-I,5	I,35 / -	-
Коэффициент разрыхления	- / I,4-I,5	I,6 / -	-
Влажность, %:			
при доставке	-	0,3	-
у ствола	-	До 0,8	-
Крупность наибольших частиц, мм	До I50 / Более 600	До I50 / -	-
Содержание частиц крупностью менее:			
50 мм	96 / 70	95 / -	-
I0 мм	68 / 48	60 / -	-
I мм	20 / I5	24 / -	-
Форма преобладающих частиц при крупности, мм:			
0-0,8		Пластинч.	-
+0,8-3	-	Столбчат.	-
+3-50		Плитчат.	

Продолжение табл.I4

Показатель	Месторождение		
	Верхнекамское	Старобинское	Предкарпатское
Коэффициент			
внешнего трения по стали ..	-	0,4	-
внутреннего трения	-	I,0	-
Угол естественного откоса, град.	-	39	-
То же, при различной форме частиц:			
столбчатые	-	34	-
плитчатые	-	40	-
пластинчатые,удлиненно-пластинчатые	-	44	-

* По данным Барона Л.И., Курбатова В.М., Куликова Я.А. и др.(I970).

ГЛАВА Ш. ОСНОВЫ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ И РАЗГРУЗКИ СЫПУЧИХ ТЕЛ ОГРАНИЧЕННОЙ ДЛИНЫ

I. Физико-механические особенности

При исследованиях аккумулирующих систем типа КДК в лабораторных условиях использовали стендовую установку, которая включала собственно стенд, взаимозаменяемые подающий и приемный бункеры,электроталь, контрольно-измерительную, сигнальную и осветительную аппаратуру.

Стенд (рис.I8) был выполнен в масштабе I:5. Конвейер 3 опирался на раму 7 цапфами и при помощи двух винтов 8 мог устанавливаться наклонно. Приводной звездочке конвейера вращение передавалось от электродвигателя через клиноременную передачу, шестипозиционную коробку передач, червячный редуктор и приводную втулочно-роликовую цепь. Скребки крепили к сухарям,жестко

связанным с вертикально-замкнутой втулочно-роликовой цепью (t= 25,4 мм). При движении цепи сухари перемещались в пазу рамы 5 конвейера, образуя в плоскости рамы непрерывную движущуюся ленту; такое исполнение, обеспечивая минимальный вынос сыпучего материала центрально-расположенным тяговым органом, позволяло не только имитировать работу двухцепного скребкового конвейера, но и наблюдать за движением частиц сыпучего по всей высоте слоя. Количество и длина скребков определялись необходимым шагом скребков и шириной конвейера.

Разрезной боковой борт 6 был выполнен из толстолистового стекла и подвешен на кронштейнах 5, которые позволяли изменять угол наклона всего борта и отдельно его загрузочной и разгрузочной частей. Перемещением кронштейнов по пазам рамы конвейера устанавливали необходимую ширину кузова.

Сложную форму кузова получали установкой проставок в разрезные боковые борта; конструкция проставок позволяла ступенчато изменять углы наклона бортов в загрузочной части через 5^0. Длину загрузочной части изменяли перемещением задней стенки.

Эксперименты проводили при постоянном и переменном количестве материала в кузове, принятом в соответствии с масштабом моделирования (λ_e= 5) и емкостью натурного кузова (10 и 15 т), и при постоянной высоте слоя. Шаг скребков и размеры их поперечного сечения были постоянными. В качестве насыпного груза использовали калийную руду крупностью 0-10 мм и влажностью 0,3-0,5%. Стенд загружали из подающего бункера, оборудованного заслонкой с регулируемой щелью. Поступающую руду периодическими включениями донного конвейера распределяли по длине кузова (аналогично реальным условиям), после чего свободную поверхность образовавшегося сыпучего тела выравнивали с тем, чтобы детально проследить за поведением сыпучего тела и отдельных его зон при разгрузке. По результатам киносъемки определяли: длительность разгрузки t_p - по отметкам времени на кинопленке, объем $\bar{V}$ материала в кузове и мгновенную производитель-

ность разгрузки $\bar{Q}$ - по кинограммам. Каждый эксперимент повторяли 3-5 раз; коэффициенты вариации не превышали 6,5%.

Физическую картину процесса изучали методом закладки марок (реперов) - деревянных кубиков размером 8х8х8 мм. После перемещения сыпучего тела на 125-525 мм определяли изменение его размеров и формы, а также расстояния, пройденные каждым из реперов. Количество одновременно закладываемых реперов составляло от 50 до 100 (рис.19).

При загрузке в результате периодического перемещения рабочим органом непрерывно поступающего насыпного груза в кузове образуется сыпучее тело, в котором можно различить области переднего и заднего откосов и среднюю часть. Горная масса в области обоих откосов располагается под углами, близкими к углу естественного откоса. Верхний профиль средней части в поперечном сечении вальный, в продольном - прямолинейный, расположенный, исключая зону загрузки, практически горизонтально. В зоне загрузки наблюдается плавный переход от остаточного конуса сыпучего к горизонтальной поверхности.

При разгрузке свободная поверхность средней части становится горизонтальной на всем своем протяжении, длина области заднего откоса увеличивается, а угол наклона откоса уменьшается (рис.20а); одновременно уменьшается длина средней части. В результате перемещения по кузову общая длина сыпучего тела возрастает (относительно первоначальной величины). Искусственно образованная плоская свободная поверхность вне области заднего откоса видимых нарушений не имеет, а высота средней части сыпучего тела не уменьшается. Таким образом, увеличение длины вызвано в основном процессами, происходящими в краевых зонах сыпучего тела и практически не связано с общим его расслоением.

В зависимости от углов наклона борта α и подъема конвейера β процесс разгрузки может сопровождаться разрывом сплошности сыпучего тела. Наличие разрыва определяет характер перемещения насыпного груза и факторы, вызывающие удлинение сыпучего тела.

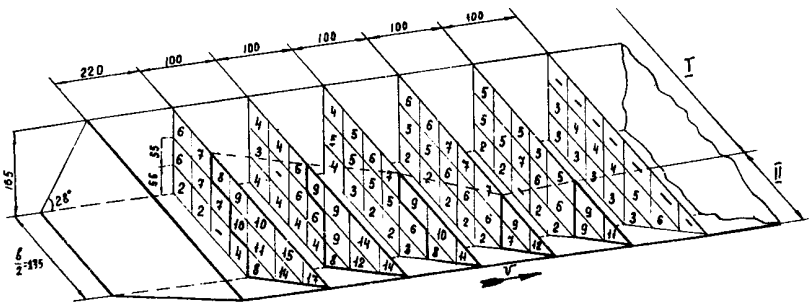


Рис.I9. Схема установки и диаграмма смещений (мм) реперов.

I - зона пусковых смещений; П - зона контактных смещений.

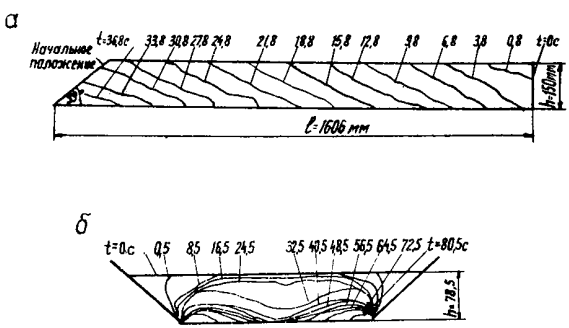


Рис.20. Кинограммы разгрузки без разрыва (а) и с разрывом (б) сплошности.

а - $\alpha = 90^0$; $\beta = 0^0$; B = 260 мм; v =0,045 м/с;
б - $\alpha = 36^0$; $\beta = 7^0$; B = 350 мм; v =0,045 м/с.

При разгрузке без разрыва сплошности вся масса насыпного груза после включения конвейера приходит в поступательное движение, однако, скорость его в различных частях сыпучего тела неодинакова. Наряду с отмечавшимся ранее общим отставанием насыпного груза в момент пуска /7/ наблюдается отставание частиц и интенсивный вынос их в освобождающуюся часть кузова в результате трения о боковые стенки.

В зависимости от величины относительного смещения частиц в сыпучем теле можно выделить три характерные зоны: пусковых смещений, контактных смещений, формирования заднего откоса (табл.I5). Смещения частиц в последней зоне, отличающиеся наибольшей величиной, приводят к переформированию сыпучего тела в области заднего откоса. В результате вдоль каждого борта за первоначальными границами сыпучего тела образуются дополнительные объемы пирамидальной формы, конечные размеры которых зависят от высоты h слоя сыпучего и углов α и β.

Процесс образования дополнительных объемов можно представить следующим образом (рис.2I).

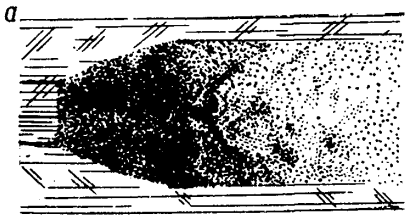
С включением конвейера частицы, находящиеся на контактах свободной поверхности откоса и боковых бортов, отстают от основной массы груза, нарушая равновесие сыпучего тела в области заднего откоса (рис.2I,а);

части сыпучего тела, примыкающие к боковым бортам и свободной поверхности откоса, обрушаются;

в процессе движения основной массы груза частицы из зон обрушения смещаются за первоначальные границы сыпучего тела (рис.2I,б);

движение частиц, вначале хаотическое, упорядочивается: они смещаются в результате относительного поступательного движения вдоль линии контакта борта и свободной поверхности и последующего скатывания по образующемуся откосу (рис.2I,в);

по мере формирования дополнительных объемов длина их увеличивается, угол γ наклона верхней кромки к плоскости днища уменьшается, а вынос частиц вдоль линии контакта практически прекращается.



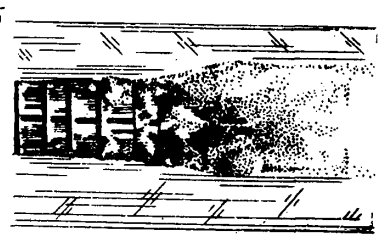




Рис.2I. Стадии формирования дополнительных объемов.(Пояснения в тексте).

Таблица I5

Зоны относительных смещений частиц

Зоны	Величина относительных смещений частиц	Причины образования	Характерные особенности
Зона пусковых смещений (I, рис.I9)	$(0,005 \div 0,01)\,l$	"Продергивание" исполнительного органа при пуске. Постепенное распространение движущих сил.	Одинаковая величина смещения в пределах слоя. Увеличение смещений при переходе к вышерасположенным слоям
Зона контактных смещений (П, рис.I9)	$(0,01 \div 0,03)\,l$	Трение о боковой борт	Изменение величины смещений в пределах слоя и от слоя к слою. Увеличение смещений в направлении боковых бортов, свободной поверхности и области заднего откоса. Увеличение размеров зоны с уменьшением угла α наклона боковых бортов и увеличением угла β подъема конвейера
Зона формирования заднего откоса (рис.2I)	$(0,1 \div 1,0)\,l$	Трение о боковой борт вблизи свободной поверхности заднего откоса	Образование дополнительных объемов за пределами сыпучего тела

Примечание. l - первоначальная длина сыпучего тела.

После образования дополнительных объемов форма сыпучего тела стабилизуется, скорости поступательного движения различных его частей выравниваются, и наступает упорядоченное движение всей массы груза, имеющее в целом характер сплошного волочения.

Эксперименты по перемещению сыпучих тел различной высоты с искусственно образованным задним откосом показали, что в данных условиях транспортирования дополнительные объемы имеют конечные и вполне определенные размеры - длину $\Delta\ell$ и угол γ .Величина $\Delta\ell$ не зависит от скорости v движения рабочего органа, а угол γ не зависит от высоты h слоя, убывает с уменьшением α и увеличением β в последнем случае - линейно (рис.22).

При разгрузке с разрывом сплошности (рис.20,б) вдоль бортов по всей длине кузова образуются области застоя, совпадающие в первом приближении с зонами контактных смещений. Слой разрывается по двум криволинейным поверхностям, проходящим через торцы скребков и имеющим переменный угол наклона: меньше и больше 90^0 соответственно в области переднего и заднего откосов. Первоначально разгружается ограниченная поверхностями разрыва центральная часть сыпучего тела; насыпной груз в областях застоя остается неподвижным, обусловливая тем самым общее увеличение длины сыпучего тела. В дальнейшем, по мере освобождения загрузочной части кузова, скребок своими краями прорезает области застоя и захватывает порции груза, образующие перед ним автономные тела волочения. Оставшаяся часть материала опускается вдоль борта к днищу кузова, следующий скребок захватывает очередную порцию груза и т.д. По мере разгрузки зона захвата постепенно смещается в направлении разгрузочного конца конвейера. При дальнейшем движении скребков объем тел волочения несколько увеличивается, они сливаются между собой, однако, процесс этот неустойчив и сопровождается интенсивным пересыпанием груза между скребками. В целом, после разгрузки центральной части сыпучего тела, имеет место порционное волочение груза.

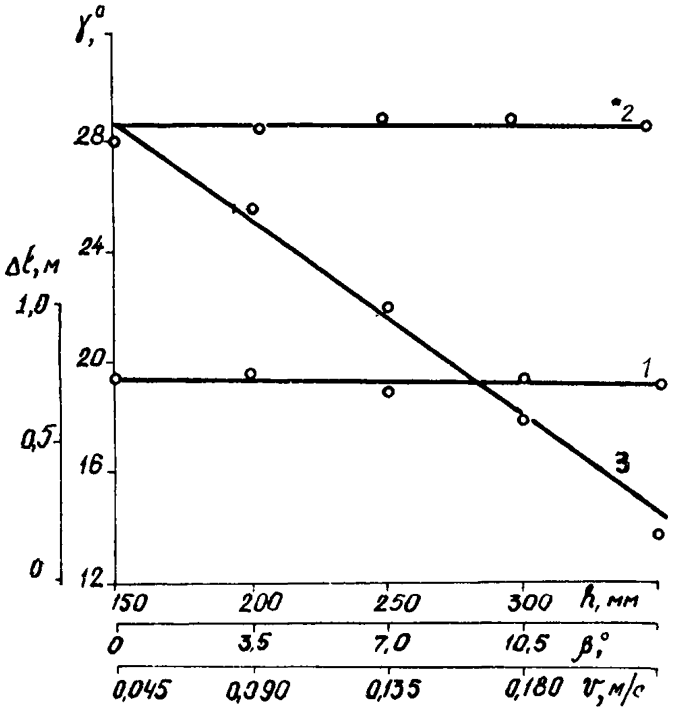


Рис.22. Зависимость длины $\Delta \ell$ дополнительного объема от скорости v движения рабочего органа (I), угла γ от высоты h слоя (2) и угла β подъема конвейера (3).

Графики изменения количества руды в кузове $\bar{G}(t)$ и мгновенной производительности разгрузки $\bar{Q}(t)$ (рис.23) при характерных значениях параметров подтверждают отмеченные выше качественные особенности процесса разгрузки. Видно, что всем кривым присущи три участка, соответствующие разгрузке областей переднего(оа) и заднего (b с) откосов и средней части (ab). На участке оа величина $\bar{Q}$ возрастает, так как угол обрушения насыпного груза при разгрузке больше угла наклона плоскости переднего откоса; на участке b с - убывает соответственно уменьшению площади поперечного сечения сыпучего тела в области заднего откоса. Наибольшая величина $\bar{Q} = \bar{Q}_{max}$ достигается на участке ab - при разгрузке средней части.

С уменьшением α и увеличением β (рис. 23,4,5) участок ab уменьшается, а участок bc - возрастает - в результате увеличения длины дополнительных объемов; величина $\bar{Q}_{max}$ при этом не изменяется: в обоих случаях средняя часть разгружается полным сечением. При разрыве слоя (рис.23, 4) образование зон застоя вызывает, помимо дальнейшего увеличения участка bc, снижение величины наибольшей производительности - $\bar{Q}'_{max} < \bar{Q}_{max}$. Резкое уменьшение $\bar{Q}$ на участке bc и последующее слабое ее изменение свидетельствуют о переходе от сплошного к порционному перемещению насыпного груза (рис.23, 5). Характер изменения Q на участке oa практически одинаков и не зависит от параметров кузова.

Процесс разгрузки кузова с переменным поперечным сечением в целом аналогичен разгрузке с разрывом сплошности и отличается образованием областей застоя только в загрузочной части кузова.

О качественном подобии процессов разгрузки на стенде и в натуре свидетельствует график (рис.23, I), построенный по результатам измерения /42/ количества руды в кузове при разгрузке самоходного вагона ВС-20.

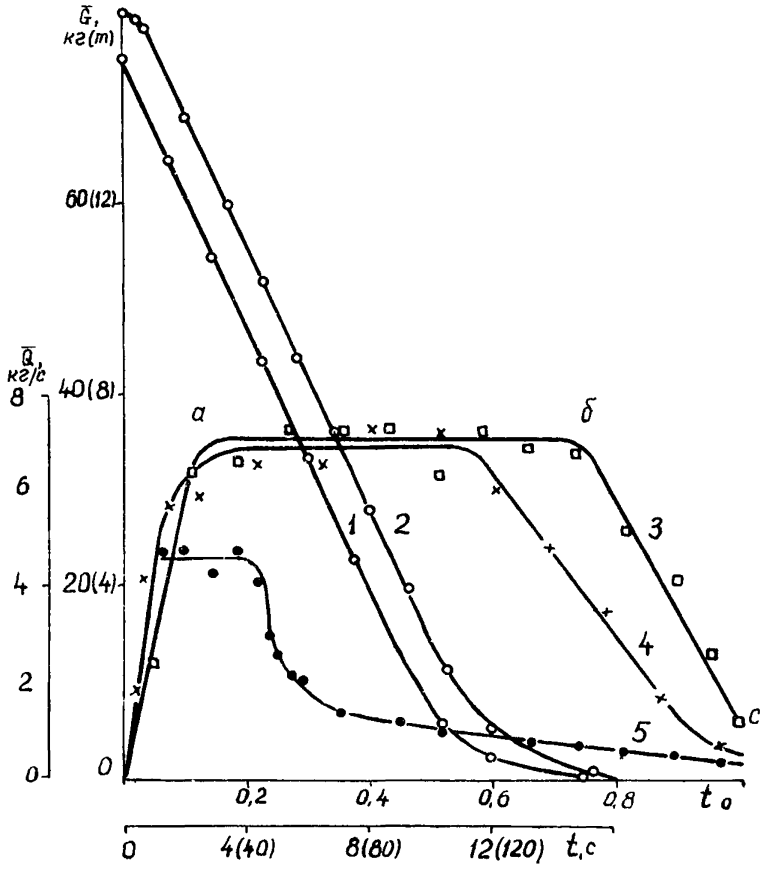


Рис.23. Изменение количества руды $\bar{G}$ (t) в натуре (1) и на стенде (2), а также мгновенной производительности $\bar{Q}(t_o)$ при разгрузке без разрыва (3,4) и с разрывом сплошности (5) сыпучего тела $(t_o = \frac{t}{t_p})$.

Значения параметров кузова: 3 - $\alpha = 90^0$, $\beta = 3{,}5^0$; 4 - $\alpha = 63^0$, $\beta = 7^0$; 5 - $\alpha = 36^0$; $\beta = 7^0$.

2. Влияние параметров системы кузов-донный конвейер на длительность разгрузки

При исследовании влияния параметров системы кузов-конвейер на режим разгрузки эксперименты планировали по методу ортогональных латинских квадратов /30, 31, 44/. Сущность метода состоит в систематическом изменении (по определенному плану) значений параметров таким образом, что каждое сочетание всех n влияющих факторов отличается от остальных значениями (n -I) факторов. Результаты замеров при одинаковых значениях каждого фактора группируются, и строятся зависимости средних значений замеров от каждого фактора. Последовательным исключением наиболее сильно действующих факторов и повторным пересчетом исходных данных строится многофакторная эмпирическая формула, позволяющая на основании минимального количества экспериментов получить комплексное представление о характере влияния отдельных параметров по всему "полю" изменения их значений.

Исследования кузовов простой и сложной форм выполняли раздельно: В каждом случае для основных экспериментов использовали сбалансированный факторный план типа 5^4; контрольные эксперименты проводили по классическому плану типа "центральный" /23/. Рандомизация планов относительно внешних условий достигалась выполнением экспериментов в случайной последовательности.

При простой форме кузова количество руды и длина сыпучего тела оставались постоянными. Переменными параметрами являлись ширина кузова B, скорость v движения цепи донного конвейера, угол α наклона борта и угол β подъема конвейера.

При сложной форме кузова постоянными величинами были B, α_p v и длина l_p разгрузочной части кузова; переменными - угол β , угол $\alpha_з$ наклона бортов в загрузочной части, высота слоя h (количество руды в кузове) и длина загрузочной части $l_з$.

Планы экспериментов, значения переменных параметров и средние значения длительности разгрузки t_p представлены на

рис.24.

I. Кузов простой формы. Длительность разгрузки

$$t_p = \frac{1}{v}\left[\ell + \frac{0{,}5\,h}{tg(30^\circ - \beta)}\right]\left[1 + (1 + 3tg\beta)\frac{\cos^2\alpha}{\sin\alpha}\right]$$

и определяется размерами сыпучего тела ℓ и h и параметрами α, β и v системы кузов-донный конвейер. Расхождение расчетных и экспериментальных данных составляет в среднем 3,9%; для натурных систем (БП-I) эта величина равна 2,6%. Характер зависимости t_p от основных параметров в многофакторной эмпирической формуле отвечает реальному (рис.25).

В полном соответствии с общими закономерностями транспортирования насыпных грузов рабочим органом конвейерного типа длительность разгрузки $t_p \to \infty$ при $\alpha \to 0$ и $\beta \to 30^\circ$ (последнее значение примерно соответствует углу естественного откоса в движении). Преобладающее влияние на t_p оказывают скорость v движения цепи донного конвейера и угол α наклона бортов. Увеличение v не вызывает дополнительного расслоения сыпучего тела: при постоянных значениях α, β, h и ℓ $t_p v = const$. С увеличением угла α длительность разгрузки уменьшается, достигая минимального значения при вертикально поставленных бортах ($\alpha = 90^\circ$).

При постоянном количестве руды в кузове с увеличением ширины конвейера B, равносильным снижению высоты слоя h, t_p уменьшается линейно. При постоянной высоте слоя увеличение ширины конвейера не оказывает влияния на длительность разгрузки. Таким образом, удлинение сыпучего тела действительно обусловлено взаимодействием его краевых зон с боковыми бортами.

С увеличением высоты слоя h и уменьшением угла α наклона боковых бортов t_p растет быстрее при больших значениях угла β подъема кузова. В то же время уменьшение угла β практически не влияет на интенсивность роста t_p с увеличением h (рис.26).

При расчете натурных систем необходимо вводить коэффициент $k_f = \frac{f_1'}{f_1''}$, учитывающий различие материала бортов на стенде и в натуре, т.е.

а

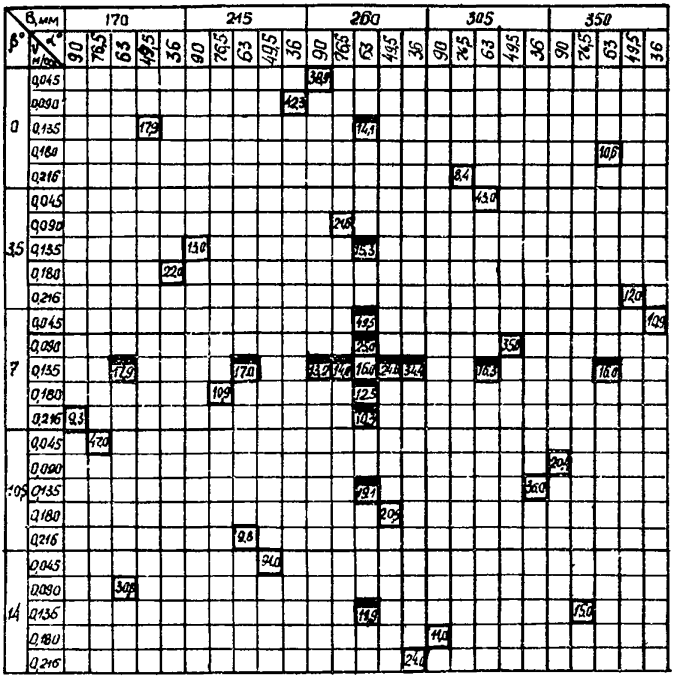


Рис.24. Планы и результаты стендовых экспериментов при простой (а) и сложной (б) форме кузова.

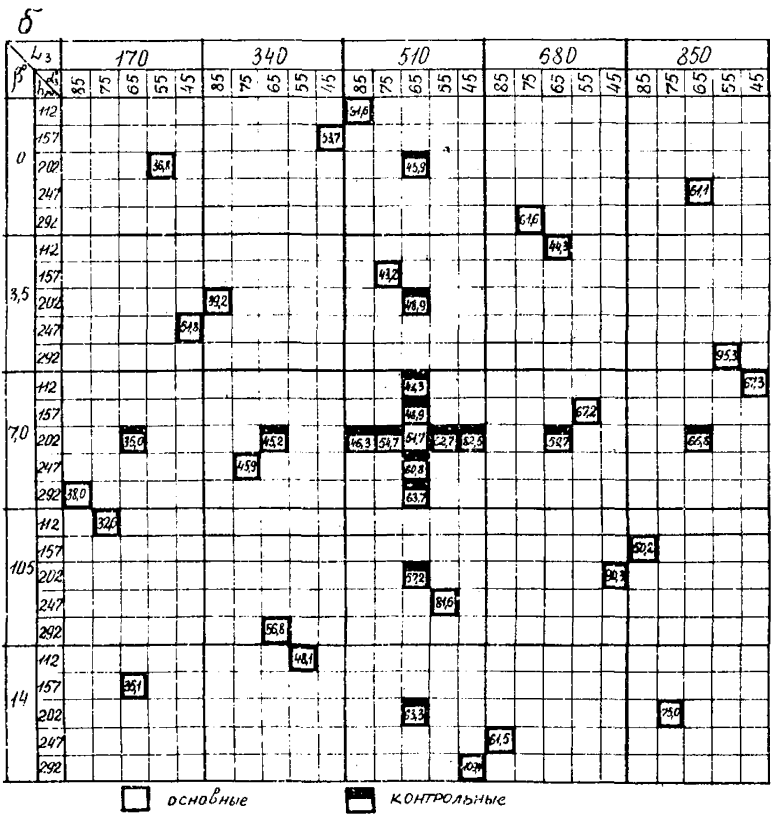


Рис.24 . Планы и результаты стендовых экспериментов при простой (а) и сложной (б) форме кузова.

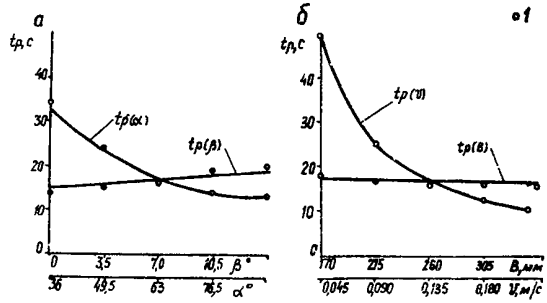


Рис.25. Сопоставление расчетных и экспериментальных величин t_p кузова простой формы при различных значениях параметров.

а - углы α и β наклона бортов и кузова;
б - скорость υ и ширина B конвейера;
I - экспериментальные данные.

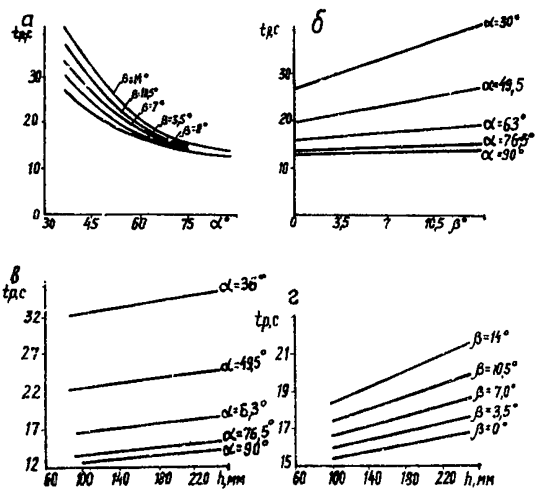


Рис.26. Зависимость длительности разгрузки t_p кузова простой формы от углов наклона α (а) и β (б), высоты h слоя сыпучего при различных значениях α (в) и β (г).

$$t_p = \frac{k_f}{v}\left[\ell + \frac{0{,}5\,h}{tg(30^\circ-\beta)}\right]\left[1+(1+3tg\beta)\frac{\cos^2\alpha}{\sin\alpha}\right]; \qquad (\text{III-1})$$

для соляных пород $k_f = 1{,}2$.

П.Кузов сложной формы. Длительность разгрузки

$$t_p = \frac{\ell_p}{v}\left(1+14\,\frac{\ell_з}{\ell_p}\cdot\frac{h}{\ell_p+\ell_з}\right)\frac{1+tg\beta}{\sin^{3/2}\alpha_з} \qquad (\text{III-2})$$

и определяется размерами сыпучего тела h и $\ell = \ell_p + \ell_з$, параметрами $\alpha_з$, $\ell_з$, ℓ_p, β и v системы кузов-конвейер, в частности, безразмерными соотношениями $\frac{\ell_з}{\ell_p}$ и $\frac{h}{\ell_p+\ell_з} = \frac{h}{\ell}$. Расхождение расчетных и экспериментальных данных составляет в среднем 4,9%, для натурных систем (IOЗС-2Е, 4ВСIO) эта величина не превышает 5%. Характер зависимости t_p от основных параметров отвечает реальному (рис.27) и ясен из формулы (III-2) и графиков (рис.28).

Преобладающее влияние на длительность разгрузки кузова сложной формы оказывают скорость v движения цепи донного конвейера и параметры $\alpha_з$ и $\ell_з$ загрузочной части.

3. Теоретические предпосылки к расчету аккумулирующих систем

Поскольку изменение скорости движения не вызывает расслоения сыпучего тела, а ширина кузова (при данной высоте слоя) не оказывает влияния на длительность разгрузки, задача о перемещении и разгрузке сыпучего тела ограниченной протяженности сводится к определению величины его удлинения, причем, достаточно рассмотреть процесс вблизи одного из бортов кузова. Относительно малая скорость движения рабочего органа донного конвейера и неизменность формы и размеров сыпучего тела после образования дополнительных объемов позволяют при решении этой задачи воспользоваться законами статики сыпучей среды.

Стабилизация формы и размеров сыпучего тела, иначе говоря, отсутствие взаимного скольжения составляющих его частиц, означает, что сыпучее тело находится в состоянии равновесия. Известно /13/, что идеальная сыпучая среда достигает состояния равновесия, если на любой элементарной площадке, проведенной внутри этой среды, выполняется условие

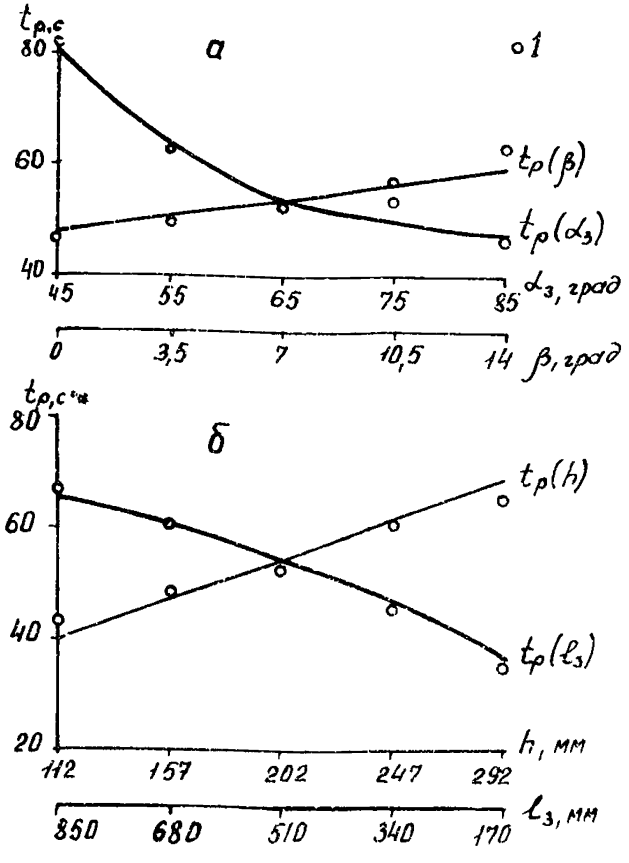


Рис.27. Сопоставление расчетных и экспериментальных величин t_p кузова сложной формы при различных значениях параметров.

а - углы $\alpha_з$ и β наклона бортов и кузова; б - высота h слоя и длина $\ell_з$ загрузочной части кузова; I - экспериментальные данные.

$$\tau \leq f \sigma ,$$

где τ, σ – соответственно касательные и нормальные напряжения, действующие на элементарной площадке.

$\tau = f \sigma$ соответствует предельному равновесию сыпучей среды. Различают предельное равновесие сыпучей среды и предельное равновесие сыпучего тела (соответственно предельное равновесие первого и второго рода). В последнем случае должны выполняться следующие дополнительные условия (так называемые условия прочности):

на поверхностях соприкосновения сыпучего тела с бортами кузова $\tau = f_1 \sigma$;

на свободной поверхности сыпучего тела $\tau = 0$.

Если какая-либо поверхность сыпучего тела выделена в толще сыпучей среды, то для этой поверхности необходимо, чтобы $\tau = f \sigma$.

Возможны случаи, когда сыпучее тело в целом находится в состоянии предельного равновесия, а составляющая его сыпучая среда – в непредельном равновесии. Поскольку формирование дополнительных объемов сопровождается интенсивным взаимным скольжением и перемещением частиц (рис.21), очевидно, что в этом случае сыпучее тело находится в состоянии предельного равновесия одновременно первого и второго рода.

Пусть в общем случае кузов имеет трапециевидную форму и наклонен под углом β к горизонту (рис.29,а). Длина дополнительного объема $abcd$

$$\Delta \ell = \frac{h'}{tg\gamma} \sqrt{1 - \frac{tg^2\gamma}{tg^2\alpha}} , \qquad (\text{II}-3)$$

и, таким образом, полностью определяется параметрами γ и h' этого объема. Уравнения проекций сил, действующих на элементарную призму $I 2 3 I^I 2^I 3^I$ (рис.29,б),

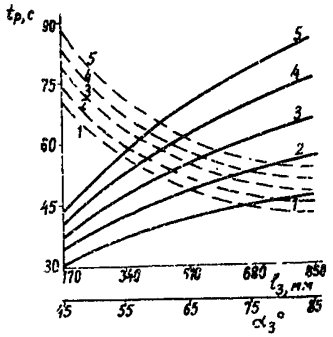


Рис.28. Зависимость длительности разгрузки t_p кузова сложной формы от углов α_3 и β наклона боковых бортов и подъема конвейера (прерывистые линии), от длины ℓ_3 загрузочной части кузова и высоты h слоя (сплошные линии).

β °: I - 0; 2 - 3,5; 3 - 7; 4 - I0,5; 5 - I4; h, мм: I - II2, 2 - I57, 3 - 202, 4 - 247,5 - 292.

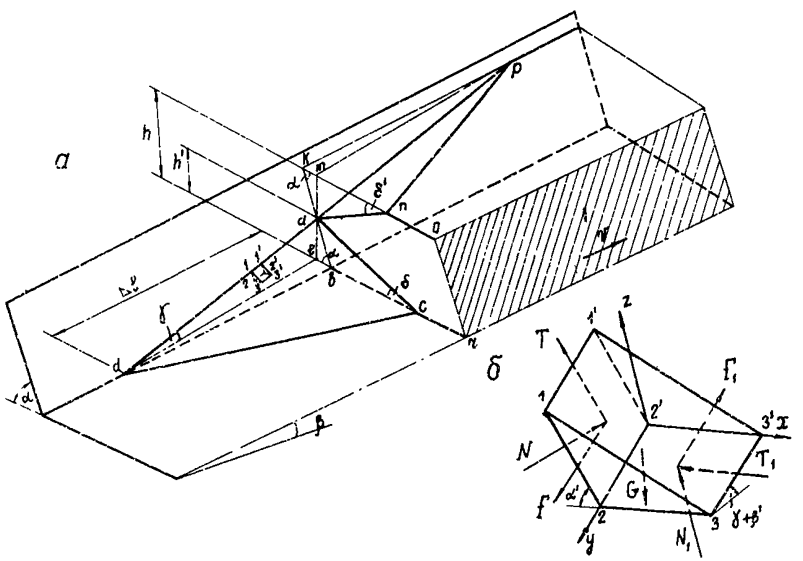


Рис.29. Расчетная схема к определению величины удлинения сыпучего тела.(Пояснения в тексте).

$$\Sigma X = -T_1 - T\cos\alpha' + N\sin\alpha' = 0;$$
$$\Sigma Y = F + G\sin(\gamma+\beta') - F_1 = 0;$$
$$\Sigma Z = T\sin\alpha' + N\cos\alpha' + N_1 - G\cos(\gamma+\beta') = 0, \quad (\text{III}-4)$$

а условия прочности призмы $I23I^{I}_{2}I_{3}I$:

$$T = f_1 N; \quad T_1 = f N_1. \quad (\text{III}-5)$$

Полагая $T = F$, $T_1 = F_1$ и решая систему уравнений (III-4)-(III-5), получаем

$$\gamma = arctg\,\frac{f(tg f' - f_1) - f f_1\sqrt{1+tg^2\alpha'}}{f + (1+f f_1)\,tg\alpha' - f_1} - \beta'. \quad (\text{III}-6)$$

Углы α' и β' могут быть выражены через известные величины α и β (рис. 29,а)

$$\alpha' = arctg\left(tg\alpha\sqrt{1-\frac{tg^2\gamma}{tg^2\alpha}}\right);$$
$$\beta' = arcsin\left(\sin\beta\sqrt{1-\frac{tg^2\gamma}{tg^2\alpha}}\right). \quad (\text{III}-7)$$

Совместное решение уравнений (III-6) и (III-7) однозначно определяет угол γ.

В соответствии с условиями формирования дополнительных объемов

$$V_{abcd} = V_{aknp},$$

где

$$V_{abcd} = \frac{1}{6}h'^3\,\frac{tg\alpha - tg\delta}{tg\alpha\ tg\delta}\sqrt{\frac{1}{\sin^2\gamma} - \frac{1}{\sin^2\alpha}};$$

$$V_{aknp} = \frac{1}{6}(h-h')^3\,\frac{tg\alpha + tg\delta''}{tg\alpha\ tg\delta''}\sqrt{\frac{1}{\sin^2\gamma} - \frac{1}{\sin^2\gamma}},$$

отсюда

$$h' = \frac{h}{1+\sqrt[3]{\dfrac{(tg\alpha - tg\delta')\,tg\delta''}{(tg\alpha + tg\delta'')\,tg\delta}}} \quad (\text{III}-8)$$

Выражения (Ш-3), (Ш-6)-(Ш-8) позволяют определить удлинение сыпучего тела в результате перемещения его по кузову при известных параметрах последнего (α, β), высоте слоя сыпучего (h) и свойствах насыпного груза (f, f_1, φ) и дают решение поставленной задачи.

В формулах (Ш-3), (Ш-6) и (Ш-7) иррациональный член $\sqrt{1-\frac{tg^2\gamma}{tg^2\alpha}} \approx 1$, поскольку

$$\frac{tg\gamma}{tg\alpha} \leq \frac{tg(\gamma+\beta')}{tg\alpha'} \leq max\left|\frac{tg(\gamma+\beta')}{tg\alpha'}\right| < \frac{f(1-1{,}8f_1)}{f+1{,}5(1+f_1 f)-f},$$

а последнее выражение для большинства пород ($f \leq 2{,}0$; $f_1 \geq 0{,}3$) не превосходит 0,25 и, следовательно, $\beta' \approx \beta, \alpha' \approx \alpha$.

Углы наклона плоскостей adc и anp к горизонту, определяемые соответственно процессами насыпания и обрушения, для идеального груза равны /2,13/, поэтому в формуле (Ш-8) $\delta = \delta' \approx \varphi$, где φ - угол естественного откоса.

В соответствии с указанными допущениями получим окончательно

$$\Delta\ell = \frac{h'}{tg\gamma}; \qquad (Ш\text{-}9)$$

$$\gamma = arctg\,\frac{f(tg\alpha - f_1) - ff_1\sqrt{1+tg^2\alpha}}{f+(1+ff_1)tg\alpha - f_1} - \beta; \qquad (Ш\text{-}10)$$

$$h' = \frac{h}{1+\sqrt[3]{\frac{\sin(\alpha-\varphi)}{\sin(\alpha+\varphi)}}}. \qquad (Ш\text{-}11)$$

В частности, для горизонтально расположенного кузова ($\beta = 0$) с вертикальными бортами ($\alpha = 90^0$)

$$tg\gamma = f\frac{1-f_1}{1+ff_1}; \quad h' = 0{,}5h; \quad \Delta\ell = 0{,}5h\frac{1+ff_1}{f(1-f_1)}. \qquad (Ш\text{-}12)$$

Взаимосвязь γ с β и h (Ш-10) полностью соответствует экспериментально установленному виду (рис.22). В связи с

рассмотрением установившегося движения сформировавшихся объемов имеется ограничение

$$\gamma > arctg\frac{h}{\ell} = [\gamma], \qquad (\text{III-13})$$

которое в аккумулирующих системах существующих горнотранспортных машин, как правило, выполняется($\gamma >> [\gamma]$). Расхождение расчетных [по формуле $t_p = \frac{1}{v}(\ell + \Delta\ell)$] и экспериментальных данных длительности разгрузки составило в среднем 3,6%; для натурной системы (БП-I) эта величина равна 0,7%. При несоблюдении условия (III-13), т.е. при $\gamma < [\gamma]$, теоретические и экспериментальные значения t_p расходятся (рис.30 прерывистая линия). Для кузова с вертикально поставленными бортами ($\alpha = 90^0$) теоретическая и многофакторная эмпирическая формулы совпадают формально и по существу

$$t_p^T = \frac{1}{v}\left[\ell + \frac{0{,}5h}{tg(27^\circ - \beta)}\right]; \quad t_p^э = \frac{1}{v}\left[\ell + \frac{0{,}5h}{tg(30^\circ - \beta)}\right].$$

Характер изменения относительной ошибки соответствует принятому отклонению теоретической модели от реального процесса. Теоретические зависимости получены в предположении о сплошном характере волочения дополнительных объемов; однако, при перемещении насыпного груза, находящегося в их вершине, в связи с малой высотой слоя имеет место порционное волочение. Очевидно, что t_p при этом должно возрастать и тем больше, чем меньше угол γ . Соответственно возрастает и относительная ошибка, причем, как правило, $t_p^p < t_p^э$. При дальнейшем уменьшении γ должна увеличиваться длина дополнительных объемов. Однако в реальных условиях рост ее ограничен несущей способностью одиночного скребка, поэтому при $\gamma \to 0$ $t_p^э < t_p^p \to \infty$.

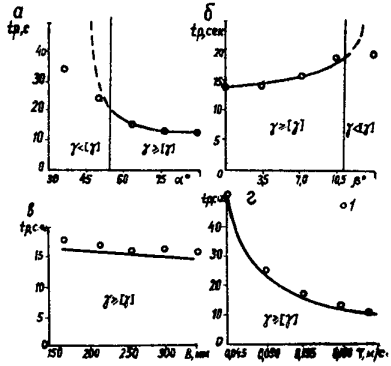


Рис.30. Сопоставление расчетных (аналитический метод) и экспериментальных величин t_p при различных значениях параметров аккумулирующей системы.

а - угол α наклона боковых бортов; б - угол β наклона кузова; в - ширина В кузова (конвейера); υ - скорость v конвейера. I - экспериментальные данные.

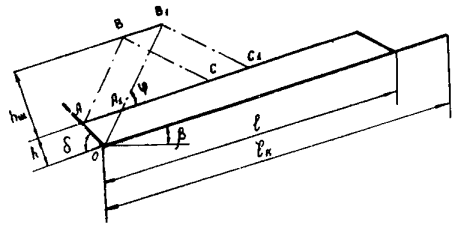


Рис.31. К расчету начальной длины $\ell_н$ сыпучего тела.

ГлаваIУ. ИНЖЕНЕРНЫЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА АККУМУЛИРУЮЩИХ СИСТЕМ ТИПА КУЗОВ-ДОННЫЙ КОНВЕЙЕР

I. Длительность разгрузки

В общем случае длина кузова $\ell_к$ и длина его загруженной части ℓ (рис.3I) могут не совпадать ($\ell < \ell_к$), поэтому необходимо различать собственно разгрузку сыпучего тела($t_р$) и его перемещение по кузову и разгрузку ($t_п$). В соответствии с результатами теоретических и экспериментальных исследований очевидной исходной величиной для расчета $t_р$ и $t_п$ является удлинение $\Delta\ell$ сыпучего тела. Тогда

$$t_р = \frac{\ell_н + \Delta\ell}{v}; \qquad (IУ-I)$$

$$t_п = t_р + \frac{\ell_п}{v}, \qquad (IУ-2)$$

где $\ell_п$ - длина порожней части кузова перед сыпучим телом (в направлении движения).

Расчетная начальная длина $\ell_н$ сыпучего тела зависит от условий загрузки, главные из которых - наличие или отсутствие торцевой стенки ОА и остаточного конуса сыпучего АВС (так называемой "шапки", рис.3I). Исходной величиной для расчета $\ell_н$ служит длина ℓ загруженной части кузова. В общем случае

$$\ell_н = \ell + \frac{V_ш}{S} + \frac{0{,}5h}{tg\varphi}, \qquad (IУ-3)$$

где S - площадь поперечного сечения сыпучего тела на рассматриваемом участке кузова;

$$V_ш \approx \frac{1}{3}\,\frac{\pi h_ш^3}{tg^2\varphi}$$

- объем"шапки"; $h_ш$ - высота "шапки"; φ - угол естественного откоса.

При отсутствии торцовой стенки $\delta' = 180^0 - (\varphi - \beta)$, и на основании (IУ-3) расчетная начальная длина сыпучего тела в этом случае

$$\ell_н = \ell + \frac{V_ш}{S} - \frac{0{,}5\,h}{tg(\varphi - \beta)},$$

где β - угол подъема кузова. При $\delta' = 90^0$

$$\ell_н = \ell + \frac{V_ш}{S}.$$

Величина $\Delta\ell$ зависит от формы кузова. Поэтому в выражении (IУ-I) и (IУ-2) следует вводить удлинение того слоя сыпучего и на таком участке кузова, где $\Delta\ell$ достигает максимального значения. В частности, для кузова, поперечное сечение которого представлено на рис.6,в, необходимо рассматривать слой, отвечающий углу наклона боковой стенки $\alpha = 50^0$ и на участке с наибольшим углом наклона кузова.

Согласно формуле (Ш-II), параметр h' дополнительного объема

$$h' = K_h\, h, \qquad (IУ-4)$$

где h - высота слоя сыпучего;

$$K_h = \frac{1}{1 + \sqrt[3]{\frac{Sin(\alpha - \varphi)}{Sin(\alpha + \varphi)}}}; \qquad (IУ-5)$$

α - угол наклона боковой стенки кузова.

Обработка методом средних совокупности значений K_h, полученных для различных α и φ, показала, что

$$K_h \approx 0{,}5 + 0{,}2\left[\frac{tg\,\varphi}{tg\,\alpha}\right] \qquad (IУ-6)$$

при относительной ошибке $\pm 2\%$ для любых $\varphi = 30 \div 60^0$ и $\alpha = (\varphi + 5^0) \div 90^0$. Для этих значений, отвечающих большинству насыпных грузов и применяемых углов наклона боковых стенок кузова, параметр h' дополнительного объема можно рассчитывать по более простой приближенной формуле

$$h' = \left(0{,}5 + 0{,}2I \frac{tg\,\varphi}{tg\,\alpha} \right) h. \qquad (IУ\text{-}7)$$

Величину K_h , кроме формулы (IУ-6), можно определить по графикам (рис.32).

Из формулы (Ш-I0) следует, что для данного насыпного груза выражение

$$\lambda = \gamma + \beta = arctg \frac{f(tg\alpha - f_1) - ff_1\sqrt{1+tg^2\alpha}}{f - f_1 + (1+ff_1)\,tg\alpha} \qquad (IУ\text{-}8)$$

является функцией только угла α наклона боковых бортов. Учитывая это, а также относительную сложность формулы(Ш-I0), удобно пользоваться графической зависимостью $\lambda(\alpha)$, действительной для конкретного насыпного груза. Тогда

$$\Delta\ell = \frac{h'}{tg(\lambda - \beta)}. \qquad (IУ\text{-}9)$$

Для соляных пород λ определяется по графику рис.33 в зависимости от угла α наклона боковых бортов. Аналогичные зависимости могут быть построены и для других насыпных грузов.

Окончательно приближенная формула для определения величины удлинения сыпучего тела $\Delta\ell$ с учетом выражений (IУ-7) и (IУ-9) имеет вид

$$\Delta\ell = \frac{(0{,}5\,tg\alpha + 0{,}2I\,tg\,\varphi)}{tg\alpha\ tg(\lambda - \beta)}\, h. \qquad (IУ\text{-}I0)$$

При $\alpha = 90^0$

$$\Delta\ell = \frac{0{,}5\,h}{tg(\lambda - \beta)},$$

и приближенная формула (IУ-I0) совпадает с теоретическими (Ш-9)-(Ш-II).

Длительность разгрузки бункеров-перегружателей, самоходных вагонов и других установок, оборудованных относительно короткой аккумулирующей системой типа КДК, в зависимости от формы кузова может быть определена, кроме того, по одной из эмпирических формул (Ш-I) или (Ш-2), для которых остаются в силе все приведенные выше методы расчета начальной длины $\ell_н$ сыпучего тела.

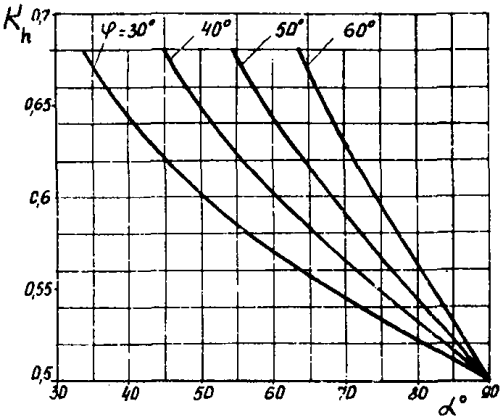


Рис.32. Коэффициент высоты k_h.

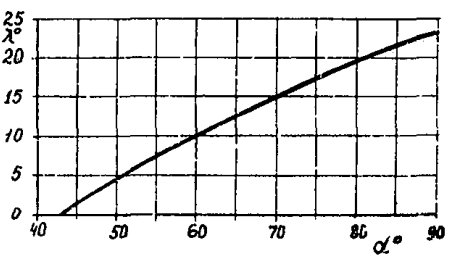


Рис.33. Зависимость λ (α) для калийных руд ($f_{\not{k}}$ = 0,4 ; $f_{\not{k}}$ = I,0),

2. Производительность разгрузки

Средняя производительность разгрузки определяется по формуле

$$Q = \frac{V}{t_p}, \qquad (IУ-II)$$

где V - объем насыпного груза в кузове.

Мгновенную производительность разгрузки $\bar{Q}$ можно представить в графической и аналитической формах. В соответствии с установленным механизмом процесса для построения графика определяют характерные точки, соответствующие концу разгрузки зоны переднего откоса (t'), средней части (t'') и всего сыпучего тела (t''') по формулам

$$t' = \frac{h}{v tg(\varphi+\beta)}; \; t'' \frac{\ell_н - \Delta\ell}{v}; \; t''' = t_p, \qquad (IУ-I2)$$

а также наибольшую мгновенную производительность

$$\bar{Q}_{max} = S v, \qquad (IУ-I3)$$

где S - сечение сыпучего тела в средней части.

Затем точки с координатами $(0; 0)$, $(t'; \bar{Q}_{max})$, $(t''; \bar{Q}_{max})$ и $(t'''; 0)$ соединяют прямыми линиями (рис.34).

Согласно известному из аналитической геометрии уравнению прямой, проходящей через две заданные точки, для отрезков oa и bt''' можно записать

$$\frac{\bar{Q}-0}{Sv-0} = \frac{t-0}{\frac{h}{v tg(\varphi+\beta)}-0}, \quad \frac{\bar{Q}-Sv}{0-Sv} = \frac{t-\frac{\ell_н-\Delta\ell}{v}}{t_p-\frac{\ell_н-\Delta\ell}{v}}$$

Отсюда мгновенная производительность разгрузки $\bar{Q}$ в данный момент времени t

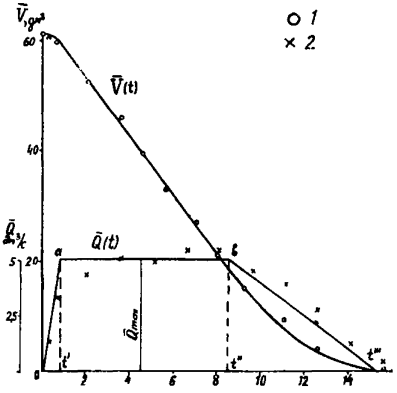


Рис.34. Изменение мгновенных значений производительности разгрузки Q и количества горной массы в кузове V по экспериментальным и расчетным данным.

I,2 - экспериментальные значения.

$$\bar{Q}=\begin{cases} S v^2 \frac{t}{h} tg(\varphi+\beta) & 0 \leqslant t \leqslant t' ; \\ S \cdot v & t' \leqslant t \leqslant t'' ; \\ \frac{S v^2}{2\Delta \ell} \cdot (t_p - t) & t'' \leqslant t \leqslant t''' , \end{cases} \qquad \text{(IУ-I4)}$$

где t' , t'' и t''' определяются по формулам (IУ-I2).

Интегрируя (IУ-I4) по t и составляя соответственно для случаев $0 \leqslant t \leqslant t'$, $t' \leqslant t \leqslant t''$ и $t'' \leqslant t \leqslant t'''$ выражения вида

$$V = \int_0^t \bar{Q}\, dt ;$$

$$V = \frac{1}{2} t' \bar{Q}_{max} - \bar{Q}_{max}(t - t') ;$$

$$V = \frac{1}{2} t' \bar{Q}_{max} - \bar{Q}_{max}(t'' - t') - \frac{1}{2} \bar{Q}_{max}(t''' - t'') + \int_t^{t'''} \bar{Q}\, dt ,$$

получим аналитические зависимости для расчета количества горной массы V в кузове в данный момент времени t

$$\bar{V} = V - S \begin{cases} \frac{v^2 t^2 tg(\varphi+\beta)}{2h} & 0 \leqslant t \leqslant t' ; \\ vt - \frac{h}{2 tg(\varphi+\beta)} & t' \leqslant t \leqslant t'' ; \\ \ell_H - \frac{h}{2 tg(\varphi+\beta)} - \frac{v^2}{2\Delta \ell} \left[\frac{t_p^2}{2} - t\left(t_p - \frac{t}{2}\right) \right] ; & t'' \leqslant t \leqslant t''' . \end{cases} \qquad \text{(IУ-I5)}$$

Сходимость теоретических и экспериментальных значений $\bar{Q}(t)$ и $\bar{V}(t)$ для кузова простой формы показана на рис.34.

Зависимости (IУ-I4) и (IУ-I5) создают необходимые предпосылки для разработки систем автоматического управления и регулирования производительности разгрузки и обеспечивают возможность обоснованного определения нагрузок в приводе донного конвейера.

3. Рациональная форма кузова

Форма кузова отдельных горнотранспортных машин регламентируется необходимостью размещения привода, системы передач и других узлов (например, у самоходных вагонов: колеса ходовой части, магнитная станция, кабельный барабан). Однако в большинстве случаев она может быть согласована с закономерностями работы аккумулирующих систем.

Рациональной будем считать такую форму кузова, которая обеспечивает наибольшую среднюю производительность разгрузки, т.е.

$$Q = \frac{V}{t_p} = Q_{max}. \qquad (IУ-I6)$$

В соответствии с упрощенной классификацией рассмотрим поэлементно кузовы простой (индекс $_1$) и сложной (индекс $_2$) формы.

Днище кузова (рис.35, а). Пусть для определенности днище сложной формы образовано двумя плоскостями, причем $\beta_2' < \beta_2''$. Кроме того

$$B_1 = B_2;\ \alpha_1 = \alpha_2;\ \delta_1 = \delta_2 = 90^\circ;\ h_1 = h_2;\ v_1 = v_2;\ V_1 = V_2;\ V_ш = 0.$$

Согласно формулам (IУ-I), (IУ-3) и (IУ-9), длительность разгрузки кузовов простой и сложной формы

$$t_{p_1} = \ell_1 + \frac{0{,}5\,h}{tg(\lambda - \beta_1)};$$

$$t_{p_2} = \ell_2' + \ell_2'' + \frac{0{,}5\,h}{tg(\lambda - \beta_2'')}.$$

При одинаковом количестве горной массы в обоих кузовах

$$\ell_2 = \ell_2' + \ell_2'' = \ell_1 + \frac{1}{2}\,h\,tg(\beta_2'' - \beta_2') > \ell_1,$$

кроме того, $tg(\lambda - \beta_1) > tg(\lambda - \beta_2'')$ и, следовательно, $t_{p_1} < t_{p_2}$ и $Q_1 > Q_2$. Последнее неравенство справедливо при любых значениях α и $\beta_2' \gtrless \beta_2'' \ldots \gtrless \beta^{\Gamma}$. Таким образом, рациональным является днище простой формы ($\beta = const$).

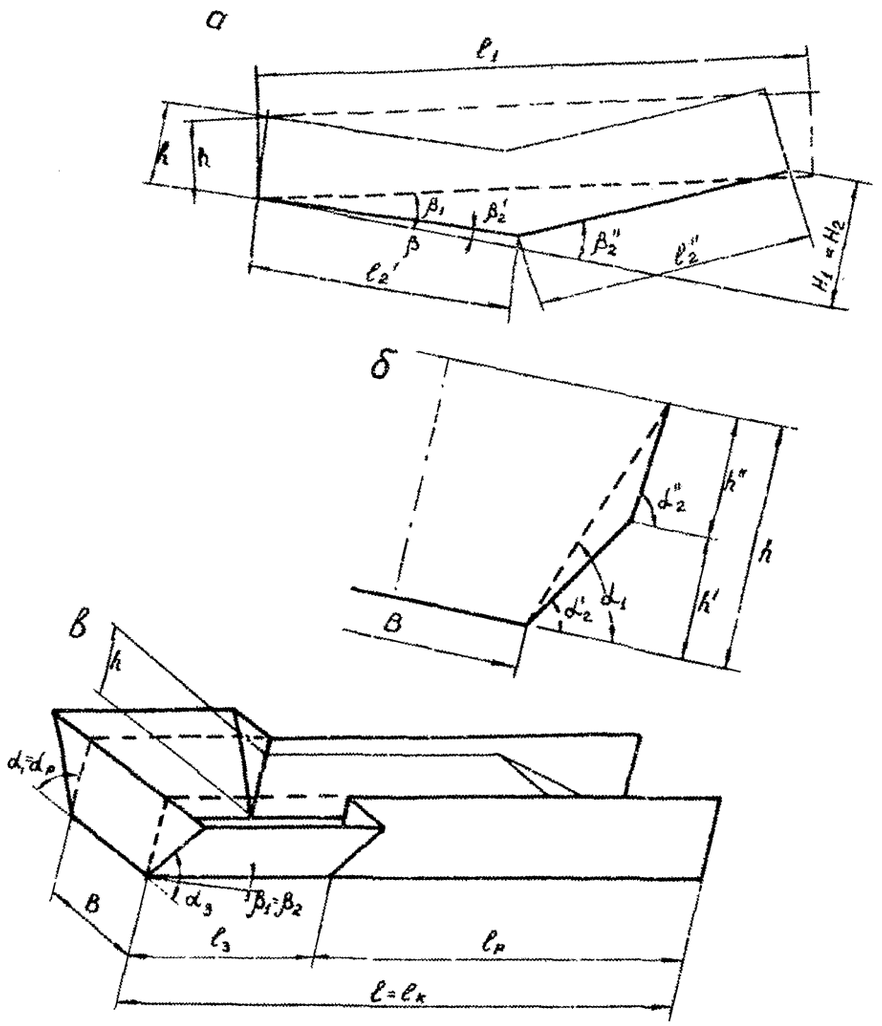


Рис.35. Форма основных элементов кузова аккумулирующих систем.
а – днище; б,в – боковой борт.

Боковой борт (рис.35,б,в). Угол наклона бокового борта может быть переменным по высоте и длине борта. Поскольку общий случай $\alpha_2(h, \ell)$ является комоинацией двух вариантов: $\alpha_2(h)$ при $\alpha_2(\ell) = const$ и $\alpha_2(\ell)$ при $\alpha_2(h) = const$, рассмотрим каждый из них отдельно, полагая в соответствии с предыдущим $\beta_1 = \beta_2 = const$. Кроме того, положим $B_1 = B_2 = B$; $\delta_1 = \delta_2 = 90°$; $h_1 = h_2 = h$; $v_1 = v_2$; $V_ш = 0$.

Боковой борт с переменным по высоте углом наклона(рис.35,б). Пусть для определенности

$$\alpha_2(h) = \begin{cases} \alpha_2' & 0 \le h \le h'; \\ \alpha_2'' & h' \le h \le h''; \end{cases}$$

причем $h' + h'' = h$; $\beta_1 = \beta_2 = 0$.

Площадь поперечного сечения слоя сыпучего при простой и сложной формах бокового борта

$$S_1 = Bh + \frac{h^2}{tg\alpha_1};$$

$$S_2 = Bh + \frac{2h^2}{tg\alpha_1} - \frac{h'^2 tg\alpha_2'' + h''^2 tg\alpha_2' + 2h'h'' tg\alpha_2'}{tg\alpha_2' \; tg\alpha_2''}.$$

В последнем случае максимальное значение площади достигается при $\alpha_2'' = 90^0$, тогда

$$S_{2\,max} = Bh + \frac{2h^2}{tg\alpha_1} - \frac{h'^2}{tg\alpha_2'},$$

и, с учетом равенства $\frac{h'}{h} = \frac{tg\alpha_2'}{tg\alpha_1}$,

$$K_S = \frac{S_{2\,max}}{S_1} = 1 + \frac{1 - \frac{tg\alpha_2'}{tg\alpha_1}}{1 + \frac{B}{h} tg\alpha_1}. \qquad (IУ-I7)$$

Коэффициент K_S характеризует наибольшее возможное увеличение площади поперечного сечения слоя, а, следовательно, и емкости кузова при использовании борта сложной формы. Отношение $\frac{tg\alpha_2'}{tg\alpha_1}$ следует принимать в соответствии с условием (IУ-I6). Полагая $V = S_{2\,max}\,\ell$ и используя t_p в форме (Ш-I), нетрудно показать, что $Q = Q_{max}$ при

$$tg\alpha_2' = \frac{2{,}3\,\ell\; tg\alpha_1}{2{,}3\,\ell + B\, tg\alpha_1}.$$

Подставив последнее выражение в (IУ-I7), получим

$$k_s = 1 + \frac{1}{(1+\frac{B}{h}tg\alpha_1)(1+2{,}3\frac{\ell}{B\,tg\alpha_1})}$$

и в соответствии с равенством $\frac{dk_s}{d\alpha_1}=0$ максимальное значение k_s достигается при величине $tg\alpha_1=\frac{1}{B}\sqrt{2{,}3\ell h}$. Но, $\frac{h}{\ell} \leqslant$ 0,I5 (см.стр. I7) и, следовательно, $k_s < 1{,}05$. Это тем более справедливо в случае $\alpha_2' > \alpha_2'' > \alpha_2''' > \ldots \alpha_2^n$.

Таким образом, при использовании взамен бокового борта простой формы борта с переменным по высоте углом наклона производительность разгрузки в предельном случае, соответствующем $\alpha_2'' = 90^0$, практически не возрастает. При $\alpha_2'' < 90^0$ применение борта сложной формы ведет к снижению производительности разгрузки.

Боковой борт с переменным по длине углом наклона (рис.35,в). Пусть для определенности

$$\alpha_2(\ell)=\begin{cases}\alpha_3 & 0 \leqslant \ell < \ell_3 \\ \alpha_p = 90^\circ & \ell_3 \leqslant \ell \leqslant \ell_3+\ell_p\end{cases};$$

причем $\ell_3+\ell_p=\ell$; $\beta_1=\beta_2=0$.

Коэффициент k_Q, характеризующий изменение производительности разгрузки при использовании борта сложной формы

$$k_Q=\frac{V_2\,t_{p_1}}{V_1\,t_{p_2}},$$

где V_1 и V_2, t_{p_1} и t_{p_2} - объем сыпучего и длительность разгрузки соответственно при простой ($\alpha_3=\alpha_p$) и сложной ($\alpha_3 < \alpha_p$) формах бокового борта.

Согласно условию (IУ-I6), применение борта сложной формы рационально, если $k_Q > 1$. Пусть $\alpha_p = 90^0$. Тогда объем насыпного груза при простой и сложной формах бокового борта

$$V_1 \approx Bh\ell;$$

$$V_2 \approx Bh\ell_p\left[1+\frac{\ell_3}{\ell_p}\left(1+\frac{h}{B\,tg\alpha_3}\right)\right]. \qquad \text{(IУ-I8)}$$

Длительность разгрузки, согласно (Ш-I) и (Ш-2):

$$t_{p_1}=\frac{k_f}{v}(\ell+0{,}87h)$$

$$t_{p_2}=\frac{\ell_p}{v}\left(1+14\frac{h}{\ell}\,\frac{\ell_3}{\ell_p}\right)\frac{1}{\sin^{3/2}\alpha_3}.$$

Тогда

$$k_Q = \sin^{3/2}\alpha_3\left[1+\frac{\ell_3}{\ell_P}\left(1+\frac{h}{B\,tg\alpha_3}\right)\right]\frac{1+0{,}87\,\frac{h}{\ell}}{1+14\,\frac{\ell_3}{\ell_P}\cdot\frac{h}{\ell}}\,.$$

Целесообразность использования борта с переменным по его длине углом наклона зависит от соотношений $\frac{h}{B}$; $\frac{\ell_3}{\ell_P}$; $\frac{h}{\ell}$ и α_3. В частности, применение такого борта нерационально при $\frac{h}{B}=1$; $\frac{\ell_3}{\ell_P}>0{,}2$; $\frac{h}{\ell}>0{,}1$ и любых α_3, т.е. для относительно коротких аккумулирующих систем, и оправдано для протяженных систем, а также коротких систем, аккумулирующих насыпной груз сравнительно невысоким слоем($\frac{h}{\ell}<0{,}1$).

В целом, для коротких аккумулирующих систем (перегружатели, самоходные вагоны и т.п.) по условиям разгрузки рациональным является кузов простой формы с трапециевидным поперечным сечением и постоянными углами наклона боковых бортов и днища.

4. Оптимальные параметры

Критерий оптимальности определяется назначением аккумулирующей системы. Как правило, основным требованием к ней является обеспечение наибольшей емкости V при минимальной длительности разгрузки t_p. В этом случае оптимальные параметры системы должны удовлетворять условию (IУ-I6).

Применительно к бункерным конвейерам параметры системы должны обеспечивать наибольшую емкость кузова при минимальных потерях полезного объема в результате удлинения сыпучего тела при его перемещении по кузову, т.е.

$$V = V' - S\,\Delta\ell = V_{max}\,, \qquad (IУ-I9)$$

где V' - теоретический объем кузова.

Для данного насыпного груза в общем случае

$$V = V(B, h, \ell, \alpha, \beta)\,;\; t_p = t_p(\upsilon, \alpha, \beta, \ell, h)\,.$$

Поскольку при увеличении B, h, ℓ, υ и уменьшении β $Q \to Q_{max}$, $V \to V_{max}$ задача сводится к определению $\alpha = \alpha_{опт}$ и решается исследованием экстремальных значений в каждом конкретном случае, так как многообразие возможных

форм кузова исключает общее решение. Рассмотрим основные варианты.

Кузов простой формы. Пусть $V_ш = 0$, $\ell = \ell_к$, $\delta = 90^0$ (рис.3I), тогда объем V насыпного груза в кузове с углом наклона бортов α

$$V = \left(h\ B + \frac{h^2}{tg\alpha}\right)\left[\ell_к - \frac{h}{2\,tg(\alpha+\beta)}\right] - \frac{1}{6}\cdot\frac{h^3}{tg\alpha\,tg(\varphi+\beta)}\,.$$

Длительность разгрузки $t_р$, согласно (Ш-9)-(Ш-II) с учетом (IУ-3), (IУ-4) и (IУ-9)

$$t_р = \frac{1}{v}\left[\ell_к + \frac{K_h\,h}{tg(\lambda-\beta)}\right].$$

Пренебрегая зависимостью $V(\beta)$ и обозначив $\frac{B}{h} = K_B$, $\frac{\ell_к}{h} = K_\ell$, получим

$$Q = vh^2\Phi, \qquad (IУ-20)$$

где

$$\Phi = \frac{\left(K_B + \frac{1}{tg\alpha}\right)\left(K_\ell - \frac{1}{2tg\varphi}\right) - \frac{1}{6}\cdot\frac{1}{tg\alpha\,tg\varphi}}{K_\ell + \frac{K_h}{tg(\lambda-\beta)}}\,. \qquad (IУ-2I)$$

Из равенства (IУ-I6) следует, что $\alpha = \alpha_{опт}$ при $\Phi = \Phi_{max}$ (рис.36). Величина $\alpha_{опт}$ зависит от типа насыпного груза (f, f_1, φ), относительных размеров кузова ($\frac{B}{h}$, $\frac{\ell_к}{h}$) и угла его подъема (β). При вычислении $\alpha_{опт}$ по формуле (IУ-2I) значения β с учетом (Ш-I3) должны удовлетворять следующему условию:

$$\beta \leqslant tg\lambda - arctg\frac{1}{K_\ell}\,; \qquad (IУ-22)$$

Равенство (IУ-2I) совместно с условием (IУ-22) позволяют определить $\alpha_{опт}$ при произвольном типе насыпного груза. Для условий калийных рудников выражения (IУ-2I), (IУ-22) с учетом данных табл.I4 преобразуются к виду

$$\Phi = \frac{(K_B + ctg\alpha)(K_\ell - 0{,}618) - 0{,}206\,ctg\alpha}{K_\ell + \frac{1}{\left[1+\sqrt[3]{\frac{\sin(\alpha-39^0)}{\sin(\alpha+39^0)}}\right]tg\left[arctg\,\frac{tg\alpha - 0{,}4\left(1+\sqrt{1+tg^2\alpha}\right)}{0{,}6+1{,}4\,tg\alpha} - \beta\right]}}\,; \qquad (IУ-23)$$

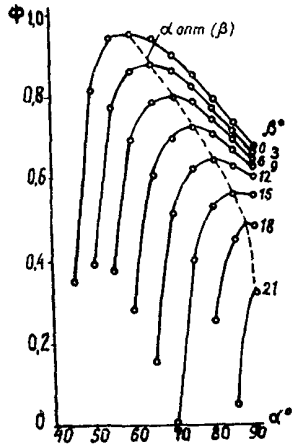


Рис.36. Характер изменения функции Φ для кузова простой формы (насыпной груз - калийная руда, $K_в = 0{,}8$; $K_\ell = 10$).

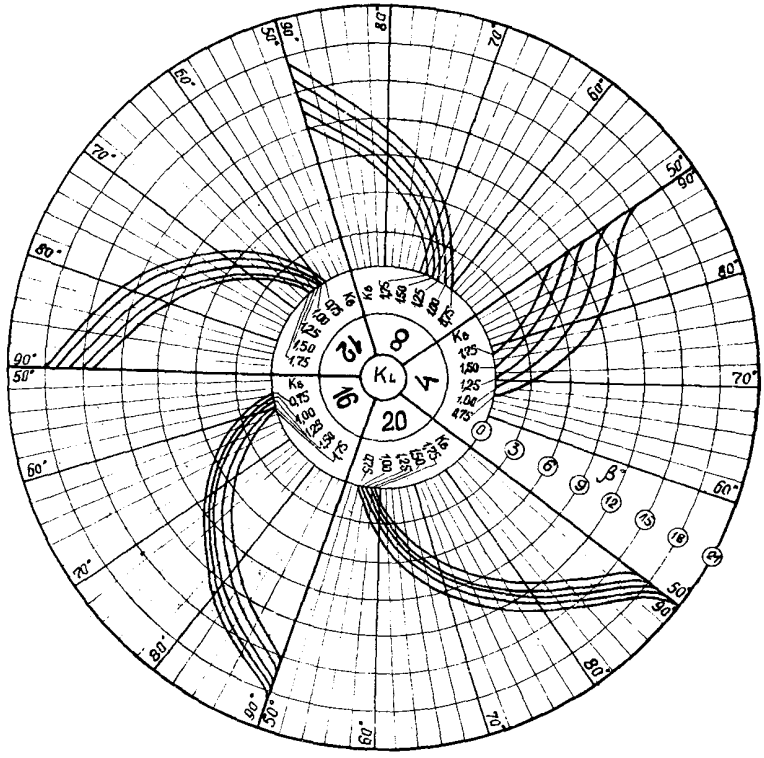


Рис.37. Номограмма для определения оптимальных углов наклона боковых бортов кузова простой формы.

$$\beta \leqslant arc\,tg\,\frac{tg\alpha - 0{,}4\,(1+\sqrt{1+tg^2\alpha}\,)}{0{,}6+1{,}4\,tg\alpha} - arctg\,\frac{1}{K_\ell}\,. \qquad (IУ\text{-}23)$$

Результаты математического моделирования на БЭСМ-4 взаимосвязи емкости и длительности разгрузки аккумулирующих систем простой формы, описываемой совокупностью зависимостей (IУ-23), приведены в табл.I6. На основании этих данных разработана номограмма (рис.37), позволяющая для условий калийных рудников определить $\alpha_{опт}$ при известных значениях $K_в$, K_ℓ и β.

Таблица I6

Оптимальные значения угла α° наклона боковых бортов

K_L	$K_в$	β°							
		0	3	6	9	I2	I5	I8	2I
4	0,75	66	70	76	80	86	90	90	90
	I,00	68	74	78	84	90	90	90	90
	I,25	72	76	82	88	90	90	90	90
	I,50	74	80	84	90	90	90	90	90
	I,75	78	82	88	90	90	90	90	90
8	0,75	60	66	70	76	82	86	90	90
	I,00	62	68	72	78	84	90	90	90
	I,25	64	70	74	80	86	90	90	90
	I,50	66	70	76	82	88	90	90	90
	I,75	68	72	78	84	90	90	90	90
I2	0,75	58	62	68	72	78	84	90	90
	I,00	58	64	70	74	80	86	90	90
	I,25	60	66	70	76	82	88	90	90
	I,50	62	66	72	78	84	90	90	90
	I,75	64	68	74	80	86	90	90	90
I6	0,75	56	60	66	72	78	84	90	90
	I,00	58	62	68	72	78	86	90	90
	I,25	58	64	68	74	80	86	90	90
	I,50	60	64	70	76	82	88	90	90
	I,75	60	66	72	78	84	90	90	90

Продолжение табл.I6

K_L	K_B	β°							
		0	3	6	9	I2	I5	I8	2I
20	0,75	54	60	64	70	76	82	88	90
	I,00	56	60	66	72	78	84	90	90
	I,25	56	62	68	72	78	86	90	90
	I,50	58	62	68	74	80	86	90	90
	I,75	58	64	70	76	82	88	90	90

Примечание. Шаг изменения α при расчетах 2°.

Кузов сложной формы (рис.35,в). Для такого кузова условие (IУ-I6) с учетом (Ш-2) и (IУ-I8), имеет вид

$$Q = \frac{h^2 v}{1+tg\beta}\,\Phi, \qquad \text{(IУ-24)}$$

где

$$\Phi = \frac{\frac{B}{h} + \frac{\ell_3}{\ell_p}\left(\frac{B}{h} + \frac{1}{tg\alpha_3}\right)}{1+14\frac{h}{\ell_K}\cdot\frac{\ell_3}{\ell_p}}\sin^{3/2}\alpha_3 . \qquad \text{(IУ-25)}$$

Оптимальные параметры кузова должны удовлетворять условию $\Phi = \Phi_{max}$. Исследуем выражение (IУ-25), рассматривая его как функцию четырех переменных: $\frac{B}{h}$, $\frac{h}{\ell_K}$, $\frac{\ell_3}{\ell_p}$ и α_3 (рис.38).

При увеличении $\frac{B}{h}$ и уменьшении $\frac{h}{\ell_K}$ функция Φ монотонно возрастает. Характер изменения $\Phi\left(\frac{\ell_3}{\ell_p}\right)$ зависит от соотношения коэффициентов при этой переменной. При увеличении $\frac{\ell_3}{\ell_p}$ функция Φ возрастает и убывает соответственно при

$$tg\alpha_3 < \frac{h\ell_K}{B(14h-\ell_K)} \quad \text{и} \quad tg\alpha_3 > \frac{h\ell_K}{B(14h-\ell_K)}.$$

Зависимость Φ (α_3) является экстремальной. Полагая част-

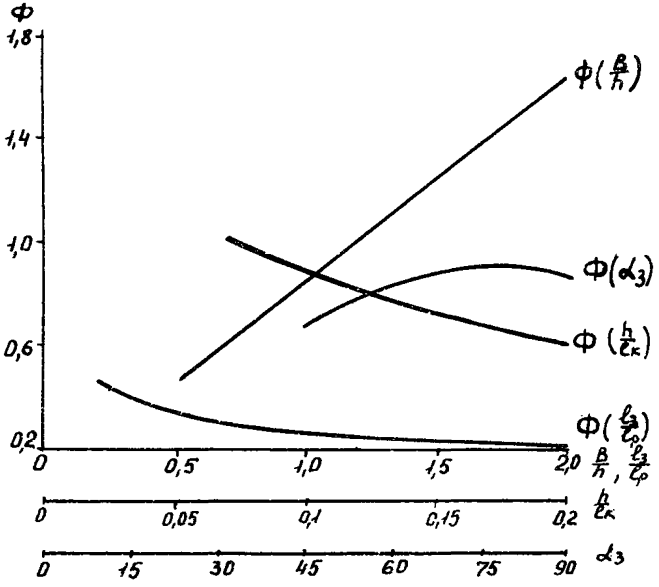


Рис.38. Характер изменения функции Φ для кузова сложной формы.

Инженерные методы расчета аккумулирующих

Номера позиций	Показатель		Номер формулы, ние	
			аналитический	
			кузов простой формы	
			произвольный насыпной груз	калийная
I	Расчетная начальная длина сыпучего тела $\ell_н$, м		IУ-3)	IУ-3)
2	Параметры дополнительного объема	Коэффициент высоты k_h	(IУ-5); (IУ-6)	
3		Высота h', м	(IУ-4)	-
4		Угол λ, град	(IУ-8)	
5		Длина $\Delta\ell$, м	(IУ-9); (IУ-I0)	
6	Длительность разгрузки	Полная $t_р$, с	(IУ-I)	(Ш-I)
7		Частичная t, с	(IУ-I2)	(IУ-I2)
8	Длительность перемещения и разгрузки $t_п$, с		(IУ-2)	(IУ-2)
9	Производительность разгрузки	Средняя Q, м³/с	(IУ-II)	(IУ-II)
I0		Максимальная Q_{max}, м³/с	(IУ-I3)	(IУ-I3)
II		Мгновенная $\bar{Q}$, м³/с	(IУ-I4)	(IУ-I4)
I2	Количество горной массы в кузове в данный момент разгрузки V, м³		(IУ-I5)	(IУ-I5)
I3	Оптимальные параметры	Скорость движения рабочего органа конвейера υ, м/с	Для всех	
I4		Ширина конвейера B, мм	Для всех	
I5		Длина кузова $\ell_к$, мм	$\ell_{к\,min}$	$\ell_{к\,min}$
I6		Угол подъема конвейера (кузова) β, град	Для всех	
I7		Угол наклона бокового борта α ($\alpha_з$), град	(IУ-2I) (IУ-22)	(IУ-23)

Таблица I7

систем типа кузов-донный конвейер

рисунка или значе- показателя		Последовательность расчета (по позициям)		
метод	графоана- литический метод	аналитический метод		графоаналити- ческий метод
кузов сложной формы	кузов простой формы	произвольный насыпной груз	калийная руда	
руда				
-	(IУ-3)	I	-	I
	рис.32	2	-	2
-	(IУ-4)	2-3	-	2-3
	рис.33	4	-	4
	(IУ-9); (IУ-I0)	2-3-4-5	-	2-3-4-5
(Ш-2)	(IУ-I)	I-2-3-4-5-6	6	I-2-3-4-5-6
-	(IУ-I2)	I-2-3-4-5-6-7	I-6-7	I-6-7
(IУ-2)	(IУ-2)	I-2-3-4-5-6-8	I-6-8	I-6-8
(IУ-II)	(IУ-II)	I-2-3-4-5-6-9	I-6-9	I-2-3-4-5-6-9
(IУ-I3)	(IУ-I3)	I0	I0	I0
-	рис.34	I-2-3-4-5-6--7-I0-II	I-6-7-II	I-2-3-4-5-6--7-I0-II
-	(IУ-I5)	I-2-3-4-5-6--7-I2	I-6-7-I2	I-2-3-4-5-6--7-I2
U_{max} (0,46 м/с)		I3	I3	I3
B_{max}		I4	I4	I4
$\ell_{к\,max}$	$\ell_{к\,min}$	I5	I5	I5
	B_{min}	I6	I6	I6
(IУ-26) (IУ-27)	рис.37	2-4-I7	I7	I7

Номер позиций	Показатель		Номер формулы, ние	
			аналитический	
			кузов простой формы	
			произвольный насыпной груз	калийная
I8		Исходные данные		
	Прямая задача	Кузов-донный конвейер	$\alpha, \beta, \delta, \upsilon, B$	$\alpha, \beta, \delta, \upsilon, B$
		Сыпучее тело	$h, \ell, V, V_ш$	$h, \ell, V, V_ш$
		Насыпной груз	f, f_1, φ	
	Обратная задача	Кузов-донный конвейер	δ	δ
		Сыпучее тело	$V, V_ш$	$V, V_ш$
		Насыпной груз	f, f_1, φ	–

Продолжение табл. I7

рисунка или значе- показателя		Последовательность расчета (по позициям)		
метод	графоана- литический метод	аналитический метод		графоаналити- ческий метод
кузов сложной формы	кузов простой формы	произвольный насыпной груз	калийная руда	
руда				
$\alpha_з, \beta, \delta,$ $U, B, \ell_з, \ell_р$	$\alpha, \beta, \delta, U, B$			
$h, \ell, V, V_ш$	$h, \ell, V, V_ш$	–	–	–
δ	δ			
V_1 $V_ш$ –	V_1 $V_ш$ –	–	–	–

ную производную $\frac{\partial \Phi}{\partial \alpha_3} = 0$, получаем квадратное уравнение

$$tg^2\alpha_3 - 1{,}5\,\frac{1+\frac{\ell_3}{\ell_p}}{\frac{\ell_3}{\ell_p}\cdot\frac{h}{B}}\,tg\alpha_3 - 0{,}5 = 0,$$

положительный корень которого

$$tg\alpha_3 = 0{,}75\left[\left(1+\frac{\ell_p}{\ell_3}\right)\frac{B}{h} + \sqrt{\left(1+\frac{\ell_p}{\ell_3}\right)^2\frac{B^2}{h^2} + 0{,}9}\,\right] \qquad (IУ-26)$$

соответствует максимальному значению Φ и, следовательно, дает оптимальные значения угла α_3 . При $\frac{\ell_3}{\ell_p} \leqslant 3$ и $\frac{B}{h} \geqslant I$ для определения $\alpha_{3\,опт}$ можно пользоваться более простой приближенной формулой

$$tg\,\alpha_{3.опт} = 1{,}5\left(1+\frac{\ell_p}{\ell_3}\right)\frac{B}{h}\,. \qquad (IУ-27)$$

Относительная погрешность в этом случае не превышает 3,5%.

Таким образом, при проектировании кузова сложной формы необходимо стремиться к увеличению ширины B и длины $\ell_к$ кузова и уменьшению высоты h слоя сыпучего, а оптимальные значения угла α_3 наклона боковых бортов в зоне загрузки определять по формулам (IУ-26) или (IУ-27) в зависимости от отношения $\frac{\ell_3}{\ell_p}$ длин загрузочной и разгрузочной частей кузова.

Бункерные конвейеры (кузов простой формы). Условие (IУ-I9), учитывая (IУ-3), (IУ-4)и (IУ- 9) и (IУ-I8), в общем случае имеет вид:

$$V = B\,h\,\ell\left(1+\frac{h}{B\,tg\alpha}\right)\left[1-\frac{h}{\ell}\cdot\frac{K_h}{tg\,(\lambda-\beta)}\right].$$

Для условий калийных рудников с учетом данных табл.I5 и аппроксимации функции $\lambda\ (\alpha)$ (рис.33) линейной зависимостью $\lambda = 0{,}48\ \alpha - I9{,}2$, для горизонтально установленного бункера ($\beta = 0$) имеем:

$$V = B\,h\,\ell\left(1+\frac{h}{B}\,ctg\alpha\right)\left[1-\frac{h}{\ell}\cdot\frac{0{,}5+0{,}17\,ctg\alpha}{tg(0{,}48\alpha-19{,}2)}\right].$$

Полагая $\frac{dV}{d\alpha}=0$ и решая это уравнение, получаем оптимальные значения угла α наклона боковых бортов бункерного конвейера, обеспечивающие максимальную емкость при минимальных потерях объема.

5. Содержание и последовательность расчета

Основные положения инженерной методики расчета аккумулирующих систем типа кузов-донный конвейер-показатели, формулы для их расчета, содержание и порядок расчета представлены в сводной табл.I7 в зависимости от способа расчета (аналитический, графоаналитический), формы кузова и вида насыпного груза. Там же (позиция I8) приведен перечень исходных данных, необходимых для решения прямой и обратной задач.

Литература

I. Абрамсон Х.И., Кальницкий Я.Б. Подземная механизированная погрузка. - Вопросы экономики. М., "Недра",I964.

2. Алферов К.В., Зенков Р.Л. Бункерные установки. М., Машгиз, I955.

3. Барон Л.И. Кусковатость и методы ее измерения. М., Изд-во АН СССР, I960.

4. Барон Л.И. Характеристики трения горных пород. М., "Наука", I967.

5. Барон Л.И., Бондарев К.Д. Метод определения абразивности пород калийного комплекса. - Изв.вузов, Горный журнал, I967, № 6.

6. Геронтьев В.И., Карелин И.Т. Рудничный транспорт. М., Госгортехиздат, I962.

7. Гулевитский Ю.Д.Рациональная геометрия и режим разгрузки кузова шахтных самоходных вагонеток. - Тр. Ин-та Гипроникель, "Горное оборудование", вып.23. Л., I965.

8. Гулевитский Ю.Д. Экспериментальное и теоретическое обоснование рационального ряда самоходных вагонеток для горнодобывающей промышленности. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Л.,1964.

9. Гурков К.С., Костылев А.Д., Креймар,В.И. Короткие рудничные конвейеры. Новосибирск, "Наука", 1970.

10. Добровский В.Е. и др. Механизированные бункерные установки в угольной промышленности Англии. М.,НИИИНФОРМТЯЖМАШ, 1968.

11. Евневич А.В. Горные транспортные машины. М., Госгортехиздат, 1963.

12. Звеков В.А. Определение зависимости продолжительности операции доставки руды от ее крупности при использовании самоходного оборудования. - В кн.: Совершенствование подземных разработок рудных месторождений. М., ИГД им.А.А.Скочинского, 1967.

13. Зенков Р.Л. Механика насыпных грузов. М., Машиностроение, 1964.

14. Исследование основных физико-механических свойств пород и руд Старобинского месторождения калийных солей. Тр.ВНИИГ, вып.49, Л., "Химия", 1966. Авт.: Атрашкевич А.А., Шокин Ю.П., Севрюков А.С., Садков С.П.

15. Кобранова В.Н. Физические свойства горных пород. М., Гостехиздат, 1962.

16. Куколев Г.В., Зеленская А.Г. О рациональном зерновом составе обожженного доломита. - Бюл. науч.-техн.информ.Всесоюзн.н.-и.ин-та огнеупоров. Харьков, 1957.

17. Лапинский Л.Г. Проектирование и строительство хранилищ минеральных удобрений. М., Стройиздат, 1968.

I8. Лебедев А.Ф. Почвенные и грунтовые воды. М.-Л., Изд-во АН СССР, I936.

I9. Михайлов Ю.И. Конвейерный транспорт при подземной добыче руды. М., "Недра", I966.

20. Михайлов Ю.И. Основы теории и расчета подземных конвейеров для доставки руды из очистных забоев. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. Кривой Рог, I965.

2I. Однополенко Г.В. Исследование бункерных поездов с изгибающимся скребковым конвейером для работы на подземных горнорудных предприятиях. Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд.техн.наук, Л., I968.

22. Пестов Н.Е. Физико-механические свойства зернистых и порошкообразных химических продуктов. М., Изд-во АН СССР, I947.

23. Пинский В.Л. Длительность разгрузки и рациональные параметры аккумулирующих систем типа кузов-донный конвейер. - Реф.инф.ВНИИГ, Калийная промышленность, вып.I0,Л., I972.

24. Пинский В.Л. Исследование условий эффективной работы и параметров аккумулирующих транспортных установок при машинной выемке калийных руд. Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд.техн.наук, Л., I972.

25. Пинский В.Л. К вопросу об определении влажности насыпного груза. - Тр. ин-та Гипроникель, вып.43, "Горное оборудование". Л., I969.

26. Пинский В.Л. О характеристике трения калийной руды и закономерностях их изменения в зависимости от крупности частиц. -"Физ.-техн.проблемы разработки полезных ископаемых", I973, № 6.

27. Пинский В.Л., Соболь А.В. Отраслевая методика расчета производительности очистных и проходческих комплексов, включающих комбайн и средства самоходного транспорта (в условиях калийных рудников). Л., ВНИИГ, I972.

28. Поляков Н.С., Штокман И.Г. Основы теории и расчета рудничных транспортных установок. М., Госгортехиздат,1962.

29. Прокофьев И.П. Давление сыпучих тел и расчет подпорных стенок. М.-Л., Стройиздат Наркомстроя, 1940.

30. Протодьяконов М.М. (младший). Методика рационального планирования экспериментов. М., Изд.ИГД им.А.А.Скочинского, 1962.

31. Протодьяконов М.М., Тедер Р.И. Методика рационального планирования экспериментов. М., ИФЗ, 1969.

32. Ржевский В.В.,Новик Г.Я. Основы физики горных пород. М., "Недра", 1967.

33. Рыжков Ю.А. Исследование угла естественного откоса пород, используемых в качестве закладочного материала в Кузбассе. - В кн.: Вопросы горного давления. Новосибирск, Изд-во СО АН СССР, 1961.

34. Самойлюк В.И., Дедов Н.И., Гаврилов О.П. Результаты испытаний скребковых конвейеров с повышенной скоростью тягового органа. - "Уголь", 1970, № 7.

35. Самоходные машины для подземной разработки рудных месторождений. М., ГНТИ, 1961. Авт.: Шарипов В.Ш., Музгин С.С., Бупежанов М.К., Ткаченко А.М., Артамоновский О.Ю., Кулаков А.Я.

36. Соболь А.В., Пинский В.Л. Обоснование эффективности применения самоходных вагонов и бункеров-перегружателей в комплексе с комбайнами ПК-8. - В кн. Вопросы разработки месторождений калийных солей, Тр.ВНИИГ, вып.51. Л.,"Недра", 1969.

37. Спиваковский А.О. Рудничный транспорт. М., Углетехиздат, 1958.

38. Спиваковский А.О., Дьячков В.К. Транспортирующие машины. М., Машиностроение, 1968.

39. Стрекачинский Б.А. Определение оптимальных параметров шахтных бункерных поездов и механизированных бункеров, оборудованных скребковыми конвейерами. Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд.техн.наук, М.,1964.

40. Тихонов Н.В., Попов Л.И. Применение промежуточной бункеризации при механизированной проходке горизонтальных горноразведочных выработок. М., ВИЭМС, 1970.

41. Шабалин А.М., Балхавдаров Х.А., Алеев Г.М. Зависимость угла естественного откоса апатитовой руды от ее крупности. В кн.: Физика процессов,технология и техника разработки недр, Л., "Наука", 1970.

42. Шахтные самоходные вагоны. М.,"Недра", 1972. Авт.:Бреннер В.А., Бауман А.В., Кожаханов С.К. Шендерович Ю.М.

43. Шахтный транспорт. Справочник. Под общей ред. д.т.н., проф.И.Г.Штокмана. М., "Недра", 1964.

44. Шенк Х. Теория инженерного эксперимента. М., "Мир", 1972.

45. Kali und Steinsalzbergbau. Band.I. Aufschlß und Abbau von Kali und Steinsalzlagerstätten. Herausgegeben von Prof. Dr. - Ing. Werner Gimm, 1968. Band II. Technologie des Kali - und Steinsalzbergbaus.Herausgegeben von Prof. Dipl.-Ing. Hans Jendersie. Leipzig, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, 1969.

46. Koster K. Experimentalle Untersuchung der Vorgänge in Falltreppen beim Fördern und Bünkern von Versatzmaterial. - Bergbauwissenschaften, 1961, N 6.

47. Metcalf I.R. Angle of repose and internal friction.- "Internat. I. Rock Mech.and Mining Sci", 1966, 3, N 2.

48. Spackeler G. Lehrbuch der Kali- und Streinsalzbergbaues. VEB Wilhelm Knapp Verlag, 1957.

Оглавление

	Стр.
Введение	3
Глава I. Аккумулирующие системы типа кузов-донный конвейер	4
I. Аккумулирующие транспортные установки на калийных рудниках	4
2. Классификация аккумулирующих систем типа кузов-донный конвейер.....	I6
3. Изученность процесса перемещения насыпных грузов высоким слоем и характеристик трения калийной руды	I8
Глава П. Физико-механические свойства соляных пород в сыпучем состоянии	23
I. Влажность, слеживаемость и абразивность ..	23
2. Гранулометрический состав, крупность и форма частиц	27
3. Насыпной вес	32
4. Коэффициенты внешнего и внутреннего трения	33
5. Угол естественного откоса	35
Глава Ш. Основы перемещения и разгрузки сыпучих тел ограниченной длины	43
I. Физико-механические особенности	43
2. Влияние параметров системы кузов-донный конвейер на длительность разгрузки	54
3. Теоретические предпосылки к расчету аккумулирующих систем	59
Глава IУ. Инженерные методы расчета аккумулирующих систем типа кузов-донный конвейер	67
I. Длительность разгрузки	67
2. Производительность разгрузки	7I
3. Рациональная форма кузова	74
4. Оптимальные параметры	78
5. Содержание и последовательность расчета ..	89
Литература	89

Вадим Львович Пинский

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО МЕХАНИЗАЦИИ ГОРНЫХ РАБОТ

Ответственный за выпуск В.С.Федоренко
Редактор Н.М.Егорова

По плану 1974 г.
М-31308 Подписано к печати 7.I.75
Формат 60 х 90 I/I6 Печ.л. 5,8 Уч.-изд.л. 5
Заказ 230 Тираж 500 Цена 35 коп.
РТП ТИП ВИР

gost.e-ecolog.ru