



Входящее в уравнение (2) время  $t_{ц}$  объединяет продолжительность всех операций, связанных с черпанием и разгрузкой ковша, включая сюда и доставку материала до транспортного сосуда, если таковая имеет место. Время  $t_{ц}$  определяется в основном кинематическими параметрами самой машины, но в известной мере также и организационными факторами и степенью обученности машиниста. Что же касается  $t_o$  и  $t_n$ , то эти затраты времени зависят исключительно от организации работы как самой машины, так и обслуживающего ее транспорта. При достаточном числе транспортных механизмов и своевременной их подаче  $t_o$  может равняться нулю. ●

Если посмотреть на практику применения погрузочных машин, то можно установить, что большинство из них работает с небольшим заполнением ковша и технической производительностью значительно ниже расчетной.

Так, наблюдениями за работой породопгрузочных машин УМП-1 на шахтах Кузбасса выявлено, что фактическое заполнение ковша у этих машин колеблется в пределах от 0,30 до 0,55, а техническая производительность от 7,8 до 15,7  $м^3/час$ .

По данным канд. техн. наук В. В. Шумилова, производившего наблюдения за работой породопгрузочных машин на шахтах Донбасса, производительность за машинное время и заполнение ковшей представлены в табл. 1.

Таблица 1

Показатели	Тип погрузочных машин		
	УМП-1	ПМА-5	ЭПМ-1
Заполнение ковша	0,73	0,34	0,41
Техническая производительность, $м^3/час$	17,7	10,3	15,1

Следует иметь в виду, что расчетная производительность машины ПМА-5 равна 20  $м^3/час$ , машины ЭПМ-1—30—45  $м^3/час$  и УМП-1—30—40  $м^3/час$ .

Степень заполнения ковша погрузочной машины периодического действия в основном определяется, с одной стороны, физико-механическими свойствами погружаемого материала, его крупностью и высотой штабеля, а с другой стороны, размерами, геометрической формой ковша и величиной напорного усилия, которое развивается ходовым устройством машины. Совокупность этих факторов наряду с кинематикой ковша в период зачерпывания материала, таким образом, и определяет собой глубину внедрения ковша в штабель, а следовательно, и степень заполнения ковша тем или иным материалом. В силу этого приведенные выше практические показатели применения различных типов погрузочных машин оказываются далеко не случайными, если сопоставить некоторые технические и конструктивные параметры машин. Так, например, если сравнить активность рабочих органов погрузочных машин по отношению развиваемого напорного усилия к ширине ковша, то получается следующая картина: это отношение для машины ПМА-5 составляет 8,2  $кГ/см$ , для ЭПМ-1—10,4  $кГ/см$ , для ППМ-2—27,2  $кГ/см$  и для УМП-1—29,4  $кГ/см$ .

Все эти машины предназначены для одинаковых условий применения, но, как видно из вышеизложенного, значения выбранного для сопоставления удельного показателя оказываются весьма различающимися между собой у различных типов машин.

Большое разнообразие наблюдается и в части конструкции рабочих органов и геометрической формы самих ковшей (рис. 1), которые могут

вызывать изменение сопротивления при внедрении ковша в штабель материала, а следовательно, и большее или меньшее заполнение ковша.

Погрузка различного рода полезных ископаемых, скальных горных пород и балластных материалов является весьма трудоемким и массовым процессом для ряда ведущих отраслей народного хозяйства. Перед лабора-

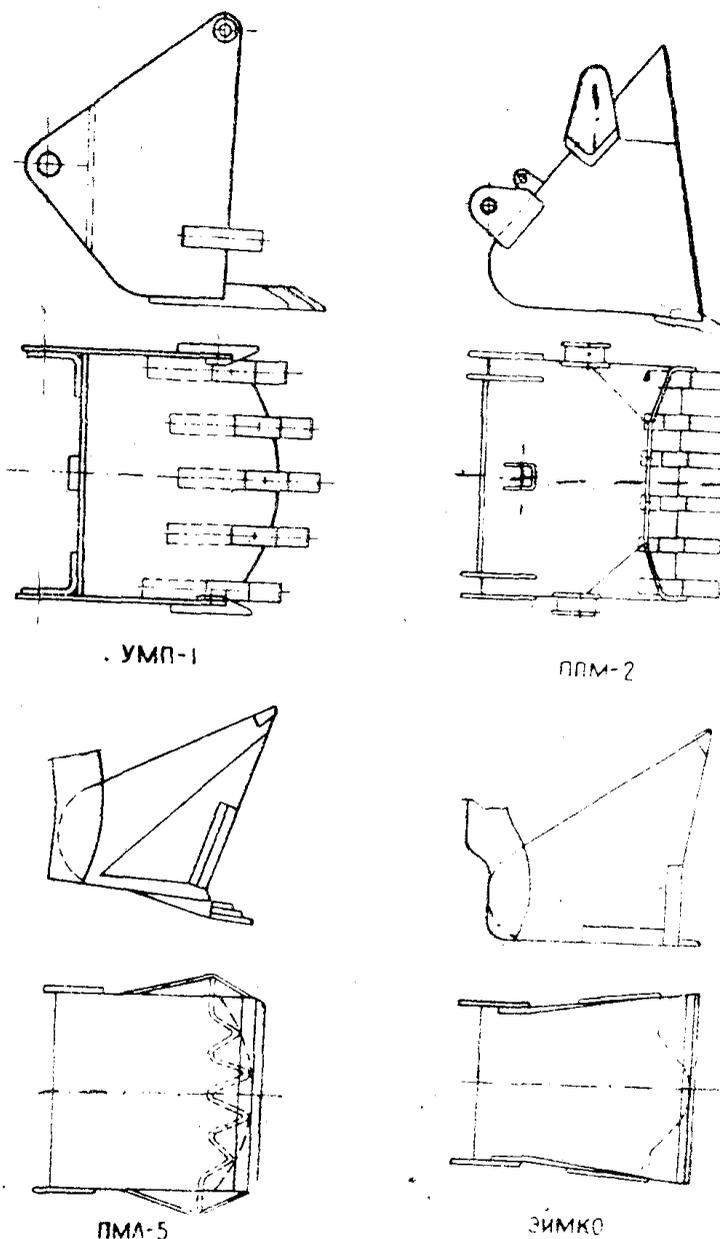


Рис. 1. Ковши различных погрузочных машин.

торией механизации Горно-геологического института Западно-Сибирского филиала АН СССР была поставлена задача изучения рабочего процесса погрузочных машин периодического действия с целью усовершенствования рабочих органов и разработки научно-технических основ для их расчета и конструирования. Следует при этом заметить, что до недавнего времени подобные вопросы мало привлекали внимание научно-исследовательских организаций, а также отдельных ученых. Лишь за последний период времени были проведены некоторые теоретические и экспериментальные исследования в этом направлении.

После проведения некоторых предварительных исследований лаборатория механизации в период с 1950 по 1955 гг. провела значительные по своему масштабу экспериментальные исследования процесса черпания скальных горных пород ковшами погрузочных машин, краткое освещение результатов которых и является основной целью настоящей статьи.

Для получения наиболее точных и сопоставимых данных исследование проводилось в лаборатории, но в условиях, близких к производственным, с ковшами естественного размера и горными породами, имеющими крупность кусков, характерную именно для практических условий.

Основными задачами исследования являлись:

1. Установление зависимости величины усилий внедрения и зачерпывания от геометрической формы и размеров ковша, а также от объемного веса, крупности кусков и высоты слоя горной породы.

2. Исследование процесса наполнения ковша при различных способах зачерпывания материала.

3. Предварительное изучение некоторых специальных технических способов для снижения усилий внедрения ковша.

4. Обоснование рациональной геометрии ковша и кинематики черпания с целью усовершенствования рабочих органов погрузочных машин периодического действия.

В качестве стенда при проведении опытов была использована породопгрузочная машина типа УМП-1, на стрелу которой устанавливались экспериментальные образцы ковшей. Перемещение машины осуществлялось с помощью лебедки. Усилия внедрения и зачерпывания фиксировались самопишущими приборами с гидравлическими датчиками.

В результате проведения намеченной программы опытов был получен весьма обширный экспериментальный материал, позволяющий сделать ряд обобщающих теоретических и практических выводов. Но поскольку в небольшой статье весьма трудно полностью осветить полученные результаты, то ниже будут приведены лишь некоторые общие выводы, представляющие наибольший интерес.

Основные взаимозависимости, которые имеют место при черпании сыпучих или кусковатых материалов ковшом, показаны на рис. 2. Здесь приведена зависимость усилия внедрения от глубины проникновения днища в слой материала и зависимость усилия зачерпывания от угла поворота ковша.

Проведенные эксперименты показали, что геометрия и конструктивные элементы ковша существенно влияют на величину усилия внедрения его в массу материала. Опыты показали, что выпуклая передняя кромка днища ковша при прочих равных условиях дает усилия внедрения на 12—16% меньше, чем кромка прямолинейная. Армирование передней кромки днища зубьями примерно на 18—20% снижало усилие внедрения, причем оптимальным для обычной крупности горных пород оказалось расстояние между зубьями в 160—180 мм. Лучшие результаты давали зубья, имеющие в поперечном разрезе трапецидальную форму. Как оказалось, большое влияние на величину усилия внедрения оказывает форма боковых стенок ковша. Так, например, если усилие внедрения днища ковша без стенок принять за 100%, то некоторые стенки обуславливали увеличение этих сопротивлений на 42—55%. Лучшие результаты были получены с боковыми стенками, имеющими вырез в нижней своей части, как это показано на рис. 3. Такие стенки увеличивали сопротивление внедрению всего на 10—15% по сравнению с сопротивлением одного днища. Установлено также, что при внедрении ковша передняя кромка его днища должна перемещаться непосредственно по почве. Если же кромка оказывается на некотором расстоянии от почвы, хотя бы на 75—100 мм, то за счет образования перед кромкой

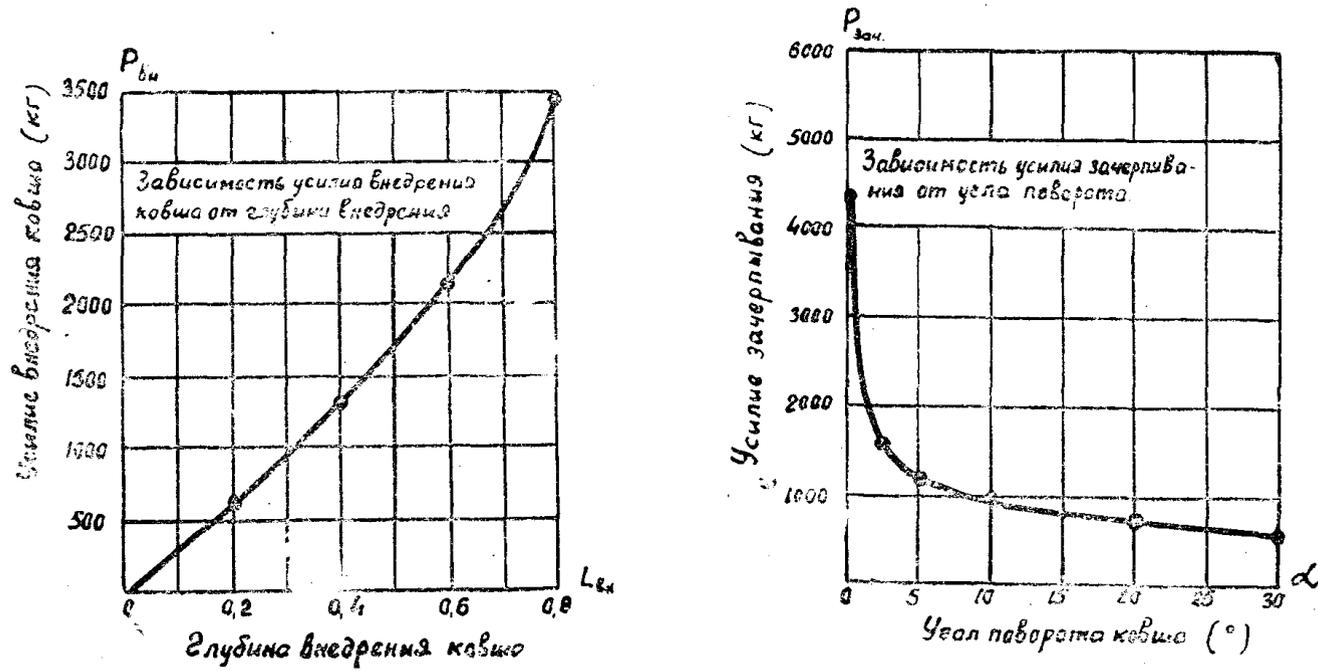


Рис. 2. Основные взаимозависимости при работе ковша.

Условия опытов:

Материал жел. руда рядовая. Угол наклона днища ковша  $\alpha_0 = 10^\circ$ . Высота слоя 800 мм. Ковш движется по почве.

большой призмы волочения, усилия внедрения возрастают примерно на 30—50%, особенно при крупнокусковых горных породах.

При изменении размеров ковша было установлено, что усилия возрастают примерно пропорционально ширине ковша. Наиболее оптимальным оказался угол наклона днища ковша к горизонту в 5—10°. Что же касается усилия зачерпывания, то геометрия ковша на них не оказывала заметного влияния.

На основании проведенных опытов был спроектирован и изготовлен экспериментальный ковш, в схеме показанный на рис. 3. Отличием этого ковша являлись выпуклая форма передней кромки, трапецевидальное сечение зубьев, наличие глубокого выреза в боковых стенках А и плавные переходы на передней кромке в промежутках между зубьями Б, исключающие возможность заклинивания кусков породы между кромкой и почвой.

В лаборатории были проделаны сравнительные испытания экспериментального ковша и стандартных ковшей машин УМП-1 и ПМЛ-5, причем размеры всех трех ковшей были одинаковыми.

На рис. 4 показана зависимость усилия внедрения от глубины внедрения днища в горную породу для этих ковшей.

Из этого рис. видно, что при одной и той же глубине внедрения ковши машин УМП-1 и ПМЛ-5 обуславливали возникновение больших на 100—120% по своей величине усилий, чем ковш экспериментальный.

С целью проверки результатов лабораторных исследований было организовано испытание ковша с улучшенной геометрией в сравнении со стандартным ковшом машины УМП-1. Эти испытания проводились в производственных условиях на одной из шахт Кузбасса, при проходке полевого штрека по песчаникам средней крепости, с крупностью кусков после отпалки в среднем 100—250 мм и максимум до 500 мм в поперечнике. Сравнение ковшей производилось при строгом соблюдении постоянства всех горно-технических условий и прочих факторов. При стандартном ковше среднее чистое время погрузки одной вагонетки емкостью 2,0 м<sup>3</sup> составляло от 8 мин 0,2 сек до 10 мин 56 сек, коэффициент заполнения ковша равнялся 0,45—0,60 и техническая производительность машины находилась на уровне 14,0—0—15,7 м<sup>3</sup>/час. С применением экспериментального ковша эти показатели резко улучшились: время погрузки одной вагонетки равнялось 4 мин 27 сек—5 мин, 07 сек, заполнение ковша составляло 0,85—1,1, а средняя производительность 25,0—26,5 м<sup>3</sup>/час. Всего за время испытания ковшей было пройдено около 40 пог. м полевого штрека. Техническая производительность машины УМП-1 с применением усовершенствованного ковша за этот период в среднем возросла на 75%, а практическая, с учетом всех вспомогательных операций и простоев—на 30%. Таким образом, производственные испытания полностью подтвердили правильность результатов лабораторных исследований и высокую эффективность такого мероприятия, как улучшение геометрии ковшей погрузочных машин.

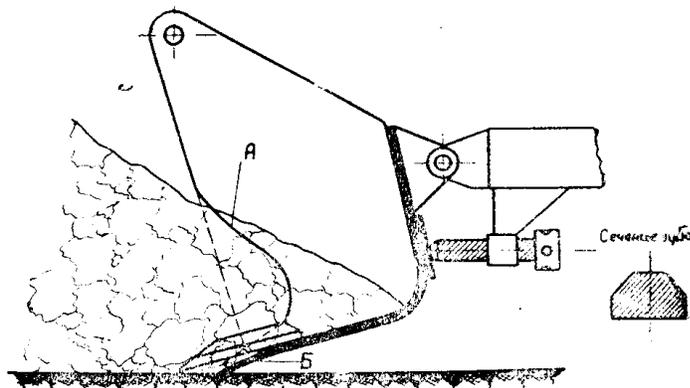


Рис. 3. Принципиальная схема ковша машины УМП-1 с улучшенной геометрией.

Существенное влияние на заполнение ковша погрузочной машины оказывает его кинематика в процессе черпания.

Иногда работа машины протекает следующим образом: ковш внедряют на некоторую глубину в штабель материала, затем машину останавливают и поворот ковша осуществляют уже при неподвижном шасси. Так работают

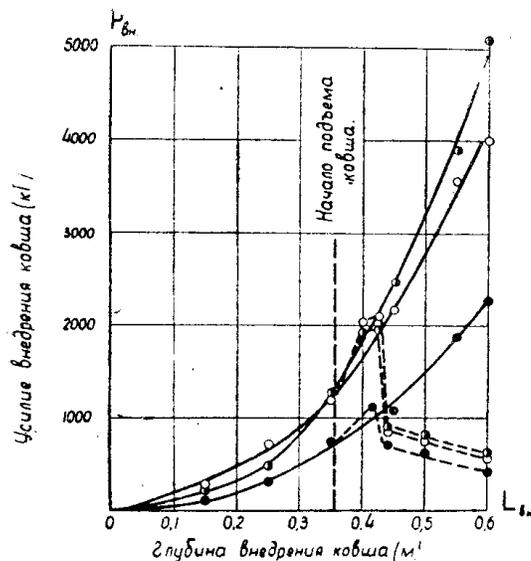


Рис. 4. Зависимость усилия внедрения ковша от глубины внедрения при различных методах черпания.

Условия опытов:

Материал — жел. руда рядовая.  
Высота слоя материала, 0,8 м.  
Угол наклона днища ковша  $\alpha_0 = 10^\circ$ .

- — ковш машины УМП-1,
- — ковш машины ПМА-5,
- — ковш экспериментальный.
- — внедрение и отрыв ковша — совместные.
- — внедрение и отрыв ковша — раздельные.

многие машинисты погрузочных машин. Но гораздо более эффективным с точки зрения заполнения ковша оказывается процесс, когда напорное движение машины по достижении ковшем некоторой начальной глубины сочетается во времени с зачерпыванием материала, то есть с поворотом ковша в вертикальной плоскости. На одной из шахт Кузбасса были проведены наблюдения за работой двух машинистов породопогрузочной машины УМП-1, имевших примерно одинаковый производственный опыт, но управлявших машиной по-разному: один из них хорошо освоил раздельное черпание и стремился до предела сократить время каждого цикла, а другой — совмещал внедрение ковша с его поворотом. Наблюдения проводились в одной породной выработке и на одной и той же погрузочной машине. При раздельном черпании чистое время погрузки одной вагонетки составляло в среднем 10 мин 54 сек, причем для ее заполнения требовалось от 21 до 32 циклов. При совмещении черпаний в одинаковых условиях вагонетка загружалась за 8 мин 08 сек при 12—18 черпаниях. Такие наблюдения были проведены за работой погрузчика Т-107 и привели к аналогичным выводам о том, что наиболее эффективным оказывается совмещение во времени процессов внедрения ковша и зачерпывания материала.

Опытами было выявлено, что кинематика рабочих органов некоторых типов погрузочных машин (это касается, в частности, машин ППМ-2 и УМП-1) для осуществления совмещенного цикла черпания оказывается нерациональной и затрудняющей хорошее заполнение ковша, особенно при небольшой высоте слоя материала.

В силу этого подъемные механизмы погрузочных машин целесообразно проектировать с барабанами, имеющими переменный радиус навивки тяговых цепей или канатов. Это имеет место в некоторых выполненных конструкциях погрузочных машин, в частности у машины ПМА-5, погрузчика Т-107 и др. Наряду с обеспечением большего заполнения ковша такая мера обусловит и выравнивание нагрузки на привод машины. Следует особо отметить, что совмещенное черпание резко снижает усилия как при внед-

рении, так и повороте ковша. Снижение усилий внедрения показано на рис. 4 пунктирными линиями, что установлено специальными опытами.

Сцепной вес любых погрузочных машин периодического действия должен выбираться в строгом соответствии с их назначением, размерами рабочего органа и конкретными условиями применения.

При совмещенном цикле черпания, когда использование запаса кинетической энергии самой машины при внедрении ковша практически не имеет места, сцепной вес машины может определяться по следующей упрощенной формуле:

$$g_m = \frac{p_{вн} + g_m (G_m \pm i)}{\mu - (G_m \pm i)} \quad (3)$$

В этой формуле приняты следующие обозначения:

$g_m$  — сцепной вес машины в кг,

$g_m$  — вес транспортного механизма с грузом в кг,

$p_{вн}$  — сопротивление ковша внедрению в штабель материала на выбранную глубину в кг,

$G_m$  — ходовое сопротивление погрузочной машины,

$G_m$  — ходовое сопротивление транспортного механизма,

$\mu$  — коэффициент сцепления ходового устройства,

$i$  — уклон пути в тысячных.

Данная формула предусматривает, что транспортный механизм связан с шасси машины и перемещается вместе с ним. Если же машина и транспортный механизм разобщены между собой, то данная формула приобретает следующий вид:

$$g_m = \frac{p_{вн}}{\mu - (G_m \pm i)} \quad (4)$$

На основании проведенных экспериментальных исследований установлена следующая приближенная эмпирическая взаимозависимость между усилием внедрения и основными факторами, на него влияющими:

$$p_{вн} = c \cdot k_h \cdot k_{\phi} \cdot p_0 \cdot B, \quad (5)$$

где  $c$  — коэффициент, учитывающий состав породы по крупности, степень ее уплотнения в слое и т. п.;

$k_h$  — коэффициент, учитывающий влияние высоты слоя;

$k_{\phi}$  — коэффициент, учитывающий геометрическую форму ковша;

$p_0$  — удельное усилие внедрения ковша на выбранную глубину внедрения в кг/см;

$B$  — ширина ковша в см.

Как показывают полученные экспериментальные данные, взаимосвязь между основными факторами, влияющими на усилия внедрения ковша, имеет сложный характер, который далеко не отражается приведенной выше формулой. Тем не менее, в изученном диапазоне изменения значений переменных факторов, эта формула дает вполне удовлетворительные для инженерных расчетов результаты, согласующиеся с данными практики эксплуатации погрузочных машин.

Проведенное исследование позволило установить величины удельных усилий внедрения для железной руды, гранита, известняка и песчанистого сланца различной крупности, а также значения всех коэффициентов, входящих в формулу 5. Значения удельных сопротивлений внедрению ковша  $p_0$  приведены на рис. 5.

Анализ экспериментальных данных и технических параметров различных типов погрузочных машин позволил сделать вывод о том, что сцепной вес ряда погрузочных машин часто не соответствует реальному сопротивлению

ковша внедрению, которое определяется размерами и геометрией последнего и конкретными условиями применения. Это касается, в частности, подземных породопогрузочных машин типа ПМА-5 и УМП-1, тракторных погрузчиков Т-107 и др. Поэтому понятными оказываются те фактические показатели их работы, которые были приведены выше.

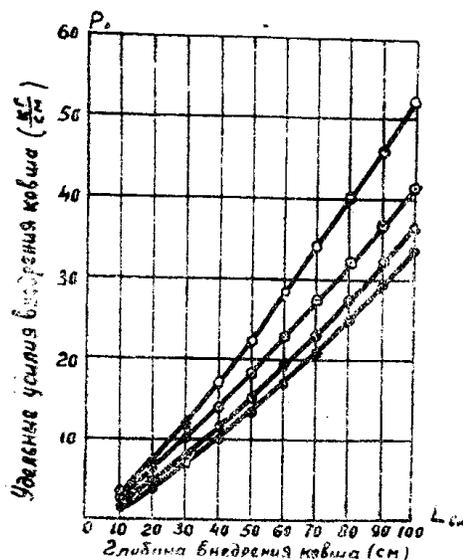


Рис. 5. Зависимость удельных усилий внедрения ковша от глубины внедрения для различных горных пород.

Условия опытов:

Ковш улучшенной geometr. формы.  
Угол наклона днища ковша  $\alpha_0 = 10^\circ$ .  
Высота слоя материала 800 мм.  
Передняя кромка днища движется по почве.

- — железная руда рядовая.
- ◐ — гранит рядовой.
- — песчанистый сланец.
- ⊙ — известняк рядовой.

С целью изыскания некоторых новых технических средств для снижения усилий внедрения ковшей погрузочных машин были проведены опыты по изучению влияния вибрирования днища ковша на процесс черпания скальных горных пород. Опыты эти носили предварительный характер, но тем не менее они представляют известный практический интерес. Известно, что вибрация как механический процесс, являющийся часто весьма нежелательным и вредным явлением, находит все расширяющееся применение в некоторых областях техники.

При проведении данных опытов, как первого этапа исследования, не ставилась задача глубокого изучения всех тех изменений, которые возникают в сыпучем теле под влиянием вибрирования, что представляет собой тему большого самостоятельного значения. Имелось в виду лишь выяснить, в какой степени и при каких, приблизительно, режимах вибрирование может обусловить то или иное снижение усилий внедрения ковша в слой крупнокусковых скальных пород. Для проведения опытов был спроектирован и изготовлен специальный ковш, в схеме показанный на рис. 6. В верхней части ковша был установлен электродвигатель 1, который с помощью передачи клиновыми ремнями приводил во вращение кривошип 2 с переменной, устанавливаемой по желанию величиной эксцентриситета. От этого кривошипа шатуном 3 колебательное движение передавалось днищу ковша 4, шарнирно связанному с корпусом ковша. Экспериментальный ковш устанавливался на имеющемся стенде, а с помощью саморегистрирующей аппаратуры фиксировались усилия, которые возникали при внедрении ковша в слой породы.

В результате проведенных экспериментов был установлен ряд интересных взаимозависимостей, с несомненностью указывающих на то, что вибрирование активных элементов рабочих органов погрузочных машин может обусловить резкое снижение усилий внедрения. Оказалось, что под влиянием вибрирования механизм процесса черпания претерпевает существенное изменение. Весьма интересен тот факт, что под влиянием днища в колебательное движение приходила значительная масса породы, частицы которой

отстояли от ковша на расстояние до 2—2,5 м. Наблюдавшееся снижение усилий внедрения ковша было обусловлено уменьшением коэффициента трения и появлением некоторой подвижности частиц породы под влиянием вибрирования. Эти явления отмечались и некоторыми другими исследователями. Процесс внедрения ковша при наличии вибрирования протекал более плавно, чем обычно.

На рис. 7 в качестве примера показана зависимость величины усилия внедрения ковша от глубины внедрения и частоты колебаний при постоянных скорости внедрения и амплитуде. Как видно из этого графика, с увеличением частоты усилия внедрения значительно уменьшились. Так, при частоте в 2000 кол/мин усилия внедрения при вибрировании составляли всего 30—40% от усилий, имеющих место при обычном процессе черпания. Еще более существенное влияние на процесс черпания оказывала амплитуда колебаний. С увеличением амплитуды от 2,5 до 15 мм усилия внедрения резко снижались по своей величине и при небольшой скорости внедрения ковша, порядка 0,075 м/сек, составляли всего 6—19% от обычных усилий внедрения ковша с неподвижным дном. Эта зависимость показана на рис. 8.

Таким образом, при больших амплитудах усилие внедрения в результате вибрирования уменьшилось в 5—12 раз. Как показали опыты, существенное значение для процесса черпания с использованием вибрирования

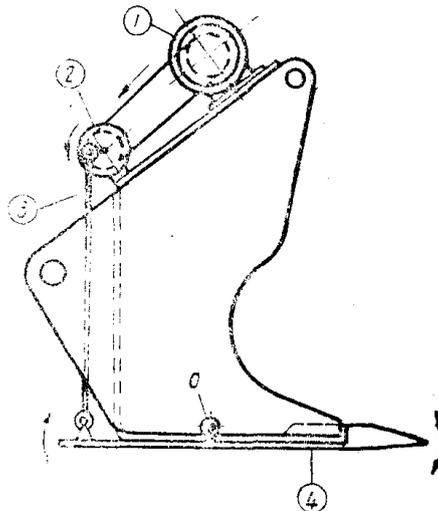


Рис. 6. Схема экспериментального ковша с вибрирующим дном.

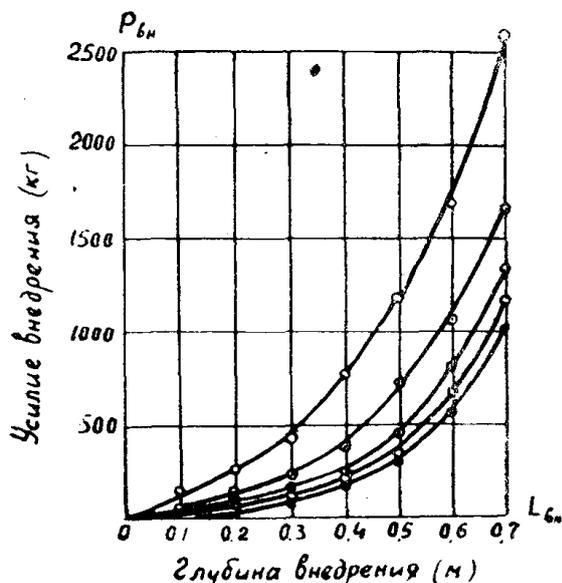


Рис. 7. Зависимость величины усилия внедрения от глубины внедрения и частоты колебаний.

Условия опытов:

Скорость внедрения ковша—0,15 м/сек.  
Амплитуда колебаний—15 мм.

- — Частота колебания 2000 кол/мин
- ◐ — " " 1500 "
- ◑ — " " 1000 "
- ◒ — " " 650 "
- — Внедрение ковша без вибрирования.

имеет скорость внедрения ковша, то есть по существу фактор времени. С увеличением скорости внедрения влияние вибрирования на усилия оказывалось менее существенным. Удельная энергоёмкость процесса черпания с применением вибрирования несколько снижалась.

Приложениями вибрирования в рассматриваемой области могут явиться новые рабочие органы погрузочных машин периодического действия, причем колебательное движение может сообщаться как всему ковшу, так и отдельным его элементам. Практическое решение данного вопроса требует соответствующих изысканий. Следует при этом заметить, что резкое снижение усилий внедрения в результате использования вибрирования может создать

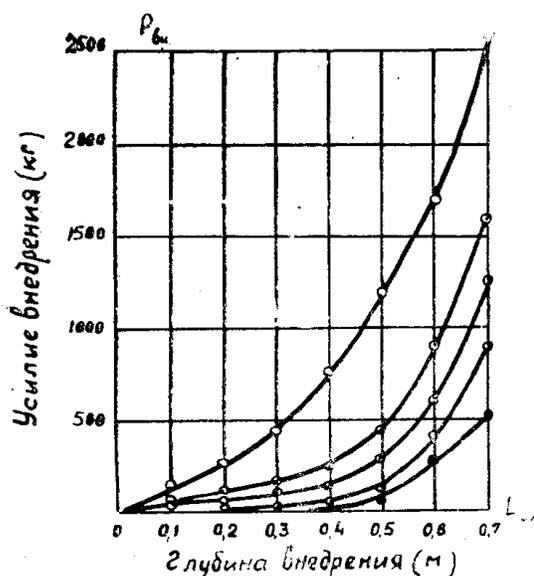


Рис. 8. Зависимость величины усилия внедрения от глубины внедрения и амплитуды колебаний.

Условия опытов:

Скорость внедрения ковша—0,07 м сек.  
Частота колебаний—1500 кол/мин.

□ — Амплитуда колебаний 15 мм  
○ — " " 10 мм  
● — " " 5 мм  
◐ — " " 2,5 мм  
● — Внедрение ковша без вибрирования.

технические предпосылки к переходу на рабочие органы непрерывного действия для тех условий, которые до сих пор являлись исключительно сферой применения погрузочных машин с рабочими органами периодического действия.

### Краткие выводы

1. В результате творческих усилий конструкторов советского машиностроения за последний период времени создано большое многообразие различных по своему назначению погрузочных машин периодического действия, получивших массовое применение во многих отраслях народного хозяйства. Опыт показывает, что механизация процесса погрузки обуславливает значительный рост производительности труда. Но в то же время конструкции многих погрузочных машин обладают рядом существенных недостатков, их производительность в эксплуатационных условиях оказывается значительно ниже расчетной, и это снижает общую эффективность применения механизированной погрузки. В силу этого важной очередной задачей является дальнейшее усовершенствование конструкций погрузочных машин, а в первую очередь их рабочих органов, не подвергшихся существенным изменениям за последнее время.

2. Проведенные лабораторией механизации Горно-геологического института Зап. Сиб. Ф А Н. исследования показали, что ковши большинства типов погрузочных машин в силу несовершенства своей геометрии обуславливают возникновение больших сопротивлений при внедрении их в слой того или иного материала. Это препятствует проникновению ковшей на нужную глубину, уменьшает их заполнение и приводит к снижению производительности машин.

Несовершенной оказывается также кинематика рабочих органов погрузочных машин, препятствующая осуществлению рабочего цикла с совмеще-

нием процессов внедрения ковша и его поворота в вертикальной плоскости. Весьма часто имеет место несоответствие между сцепным весом погрузочной машины и размерами ковша, что в тяжелых условиях работ приводит к резкому снижению ее производительности.

3. В результате проведенных экспериментальных исследований намечены конкретные пути улучшения геометрии ковшей погрузочных машин, обоснована кинематика рабочих органов, обеспечивающая наибольшее заполнение ковшей, выявлены реальные усилия, возникающие при черпании скальных пород. Все это в совокупности позволяет сделать ряд практических рекомендаций в части улучшения конструкций погрузочных машин и их основных технических параметров. Изучены также некоторые новые технические приемы для снижения усилий черпания, в частности вибрирование, что уже намечено для использования при проектировании новых типов погрузочных машин.