

УДК 622.233.06

**Ф.Э. Шейн, А.В. Гилёв, Ю.А. Хомич,
Н.Н. Гилёва**

ОБОСНОВАНИЕ МЕХАНИЗИРОВАННОГО СКРЕПЕРНОГО КОМПЛЕКСА РАБОЧИХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ ОБВОДНЕННЫХ РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Приведено современное состояние применения канатных скреперов на добыче обводненных полезных ископаемых и конструкция опытного образца шагающего скрепера с обоснованием его геометрических, силовых параметров и параметров рабочего органа.

Ключевые слова: обводненное месторождение, шагающий скрепер, геометрические параметры, привод, гидросистема, устойчивость, ковш, перфорация.

Современное состояние применения канатных скреперов

Промышленность строительных материалов, производимых из горных пород в России, является самой крупной по объемам добывающей отраслью народного хозяйства [1]. Производство нерудных строительных материалов в Российской Федерации на рубеже XX—XXI веков составляло примерно 1,5 млрд м³, а по научным прогнозам в перспективе может достигнуть 2,2—2,4 млрд м³. При этом около 25 % от указанных объемов занимают песчано-гравийные смеси, из которых примерно 60 % добывают на обводненных месторождениях.

На карьерах нерудного сырья основной объем приходится на добычу полезных ископаемых. Поэтому основными горно-транспортными комплексами здесь являются выемочно-транспортно-разгрузочный и экскаваторно-транспортно-разгрузочный (табл. 1).

Таблица 1

Основные структуры комплексной механизации добычи общераспространенных полезных ископаемых

Наименование комплекса	Выемочно-погрузочное оборудование	Транспортное оборудование	Средства первичной переработки
Выемочно-транспортно-разгрузочный	Роторный экскаватор Цепной экскаватор Драга Земснаряд	Конвейерный транспорт Гидротранспорт	Дробильно-сортировочный и обезвоживающий комплекс
Экскаваторно-транспортно-разгрузочный	Экскаватор-мехлопата Экскаватор-драглайн Канатный скрепер Башенный экскаватор	Автотранспорт Железнодорожный транспорт Конвейерный транспорт	Дробильно-сортировочный и обезвоживающий комплекс



Рис. 1. Скрепер канатный шагающий при глубинной добыче песчано-гравийной смеси

сконструирован, изготовлен в ООО «Торговый Дом» (производство нерудных строительных материалов) и введен в эксплуатацию на карьере «Песчаный», расположеннном в пойме р. Енисей (рис. 1) [3].

Созданию канатного шагающего скрепера (СКШ) предшествовало теоретическое обоснование его основных рабочих параметров, таких как параметры забоя, геометрические параметры, силовые характеристики приводов и параметры рабочего органа.

Обоснование параметров забоя и геометрических параметров СКШ

Параметры забоя обусловлены горно-геологической характеристикой месторождения и техническими показателями силовых механизмов (рис. 2 и табл. 2).

Таблица 2

Параметры забоя при работе СКШ

№ п/п	Параметры	Значение
1	Глубина черпания, $H_{чер.}$, м	30
2	Угол откоса борта, α , град	30
3	Длина черпания, $L_{чер.}$, м	125
4	Ширина черпания, $B_{чер.}$, м	125
5	Максимальный угол черпания, λ , град	60

Геометрические размеры СКШ рассчитаны и приняты, исходя из параметров забоя, характеристик скреперной лебедки (тип 100 ЛС) и гидросистемы (рис. 3 и табл. 3).

В приведенной структуре на зарубежных нерудных карьерах широкое применение получили канатные скреперные установки, особенно эффективно работающие на обводненных месторождениях [2].

Один из представленных вариантов механизированного комплекса с использованием канатного скрепера применен в г. Красноярске при освоении песчано-гравийных месторождений. Скрепер канатный шагающий

(производство нерудных

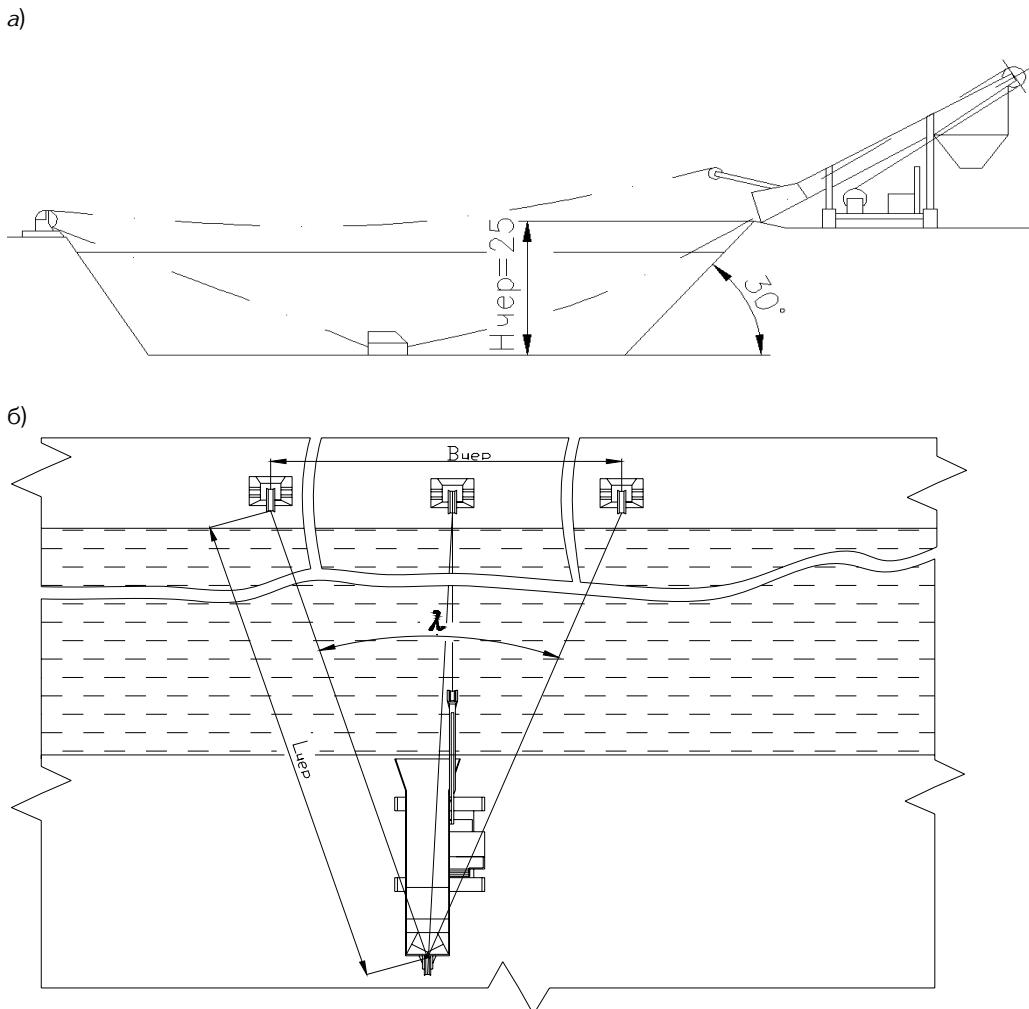


Рис. 2. Расположение СКШ в забое: а) разрез забоя; б) вид сверху забоя

Таблица 3

Геометрические параметры СКШ

№ п/п	Параметры	Значения
1	Вместимость ковша, м ³	3
2	Емкость бункера-перегружателя, м ³	5
3	Длина/ширина лыжи, мм	2500/700
4	Высота базы, мм	580
5	Высота бункера-перегружателя, м ³	3100
6	Длина скрепера, м	14700
7	Ширина скрепера, м	5400
8	Высота скрепера, м	8150

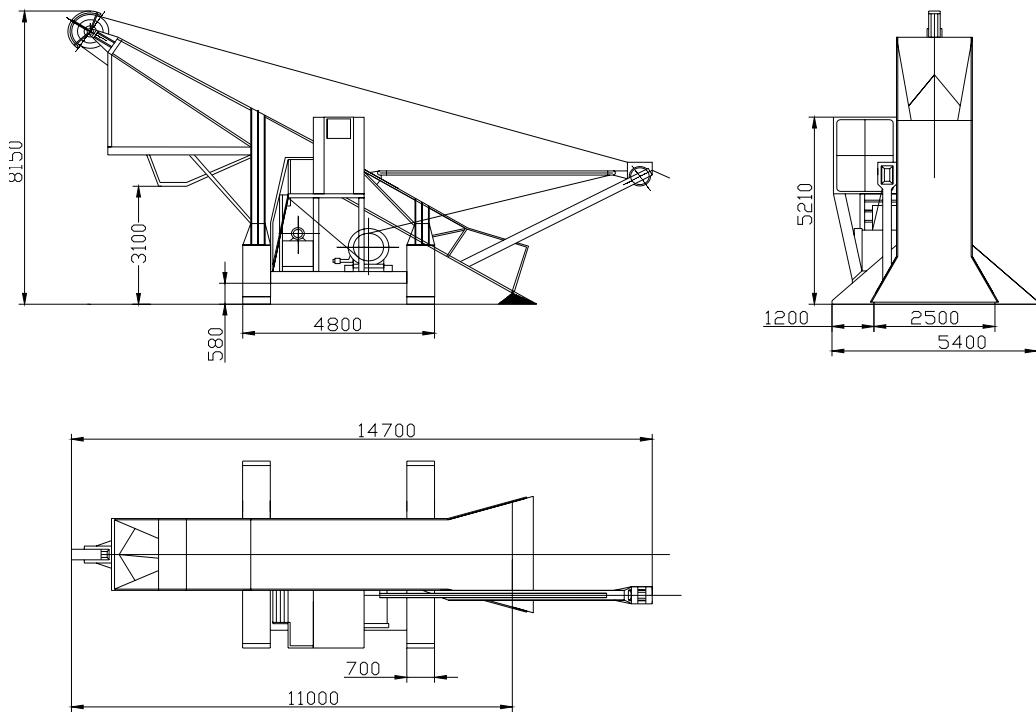


Рис. 3. Общий вид СКШ

Обоснование привода ходового оборудования и гидросистемы СКШ

В конструкции СКШ предусмотрены приводы ходового оборудования и скреперной лебедки. Привод ходового оборудования расходует энергию на подъем скрепера массой m_c , его перемещение и перенос шагающих лыж. Последнюю составляющую можно не учитывать из-за её относительно малой величины.

Работа, расходуемая на вертикальный подъем скрепера A_1 , (кДж)

$$A_1 = m_c \cdot q \cdot h, \quad (1)$$

Работа, расходуемая на перемещение скрепера A_2 (кДж),

$$A_2 = S \cdot m_c \cdot q \cdot N, \quad (2)$$

где S — длина шага ($S = 0,15$ м); N — коэффициент, учитывающий угол, при котором скрепер начинает двигаться по инерции (в зависимости от угла наклона рабочей площадки $N = 0,4—0,6$).

Если принять продолжительность одного шага, равное T_c , то привод за время, примерно равное $0,25 T$, производит подъем скрепера и его перемещение, а за время, равное $0,75 T$, осуществляет перенос лыж.

С учетом (1) и (2) мощность N_x (кВт) привода ходового оборудования определится

$$N_x = \frac{m_c \cdot q(h + S \cdot N)}{0,25 \cdot T \cdot \eta},$$

где η — КПД механизма шагания ($\eta = 0,5 \div 0,7$), $T = 22$ с.

Скорость хода V_x (км/ч) шагающего скрепера при числе шагов в час $n_{ш}$ определяется по формуле:

$$V_x = 10^{-3} \cdot K' \cdot S \cdot n_{ш},$$

где K' — коэффициент, учитывающий проскальзывание лыж по грунтовому основанию в начале и конце шага ($K' = 0,7 \div 0,9$); $n_{ш} = 3600/T$

Для функционирования гидросистемы СКШ произведен расчет производительности гидронасоса при прямом (Q_{px}) и обратном (Q_{ox}) ходе, которую можно определить по формуле ($\text{м}^3/\text{с}$):

$$Q_{px} = Q_{ox} = \frac{\pi \cdot (D^2 - d_{ш}^2) \cdot V_{ш}}{4 \cdot \eta_0}, \quad (3)$$

где $V_{ш}$ — скорость движения штока в прямом и обратном направлениях, м/с; D -диаметр гидроцилиндра, м.

Диаметр гидроцилиндра установлен, исходя из рассчитанного значения, определяемого по формуле:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot R_p}{P_{раб} \cdot \pi}},$$

где R_p — расчетное усилие штока, Н; $P_{раб}$ — рабочее давление жидкости, Н/м². $d_{ш}$ — диаметр штока, определяемый из условий прочности и устойчивости, м.

Диаметр штока из условия прочности равен:

$$d_{ш} = \sqrt{\frac{4 \cdot n_p \cdot R_p}{[\delta_{сж}] \cdot \pi}}, \quad (4)$$

где n_p — запас прочности ($n_p = 1,4$); $[\delta_{сж}]$ — допускаемое напряжение сжатия для материала штока, Н/м².

Диаметр штока из условия устойчивости равен

$$d_{ш} \geq \left(\frac{64 \cdot R_p \cdot K^2 \cdot l_{ш}^2 \cdot n_y}{\pi^3 \cdot E} \right)^{0.25}, \quad (5)$$

где K — коэффициент, учитывающий схему крепления штока. $K = 2$, когда один конец штока закреплен жестко, а другой свободен, $l_{ш}$ — рабочий ход штока, м; n_y — запас устойчивости ($n_y = 1,4$); $E = 2 \cdot 10^6$ — модуль Юнга, Н/м². Исходя из (4) и (5), диаметр штока принимают наибольшим.

Результаты расчетов параметров ходового оборудования приведены в табл. 4.

Таблица 4

Рабочие параметры ходового оборудования

№ п/п	Параметры	Значения
1	Гидроцилиндр подъема: Гц06-100x50x430: - рабочее давление, МПа	20
2	Гидроцилиндр тяги: Гц01-80x40x320: - рабочее давление, МПа	20
3	Насосная установка: С400-А-РГ-1-16-200-37-3-10-УХЛЧ: - номинальное давление, МПа - номинальная подача, л/мин - номинальная приводная мощность, кВт при частоте вращения 1500 об/мин	1,6-32 5-200 1,5-45
4	Скорость хода, V_x , км/ч	0,02

Образование нагрузок лебедки

Для определения нагрузок, преодолеваемых скреперной лебедкой, необходимо рассчитать усилия, действующие на ковш скрепера (рис. 4).

Касательная составляющая усилия P_{01} (кН) сопротивления горной породы копанию на режущей кромке ковша скрепера (рис. 4) вместимостью E (м^3), при условии его 100 %-го наполнения на пути l_n (м), определяется из выражения [4]:

$$P_{01} = \frac{E(1 + \lambda_o)K_F}{K_{n_{yt}} \cdot l_K \cdot K_p}, \quad (6)$$

где λ_0 — отношение объема призмы волочения к объему ковша (принимается для лёгких пород $\lambda_0 = 0,4$); K_F — коэффициент удельного сопротивления копанию, кПа (принимается равное $K_F = 42$ кПа); $K_{n_{yt}}$ — отношение пути l_n к длине ковша l_k (принимается равное $l_k = 2,5$); K_p — коэффициент разрыхления (принимается равное $K_p = 1,08$).

Тяговые усилия S_T (кН), массу ковша m_k (т), а также высоту r_T (м) крепления тягового каната от уровня режущей кромки определяют на основании следующих уравнений:

$$\sum P_x = 0; S_t + P_B \cdot \sin \alpha = \mu_1 \cdot G_{k+n} \cdot \cos \alpha + P_{01} + P_{rc} \cdot \sin \alpha + G_{k+n} \cdot \sin \alpha + P_{nc}; \quad (7)$$

$$\sum P_y = 0; P_{02} + P_B \cdot \cos \alpha = G_{k+n} \cdot \cos \alpha + P_{rc} \cdot \cos \alpha; \quad (8)$$

$$\sum M_o = 0; S_t \cdot r_T + P_B \cdot \sin \alpha \cdot r_0 + P_B \cdot \cos \alpha \cdot P_{k/2} = P_{nc} \cdot h_{k/2} + P_{rc} \cdot \sin \alpha \cdot h_k + P_{rc} \cdot \cos \alpha \cdot l_{k/2} \cdot \sin \alpha \cdot r_0 + G_{k+n} \cdot \cos \alpha \cdot l_{k/2} \quad (9)$$

где α — предельный угол откоса (принимаем $\alpha = 30^\circ$); μ_1 — коэффициент трения ковша о породу (в среднем $\mu_1 = 0,4$); r_T — плечо приложения усилия S_T ; P_B — выталкивающее усилие, действующее от воды, (Архимедова сила); кН; $r_0 \approx h_{k/2}$ расстояние от кромки до центра тяжести ковша; $P_B = 10^{-3} \rho \cdot q \cdot v$, P_{rc} — сила давления жидкости, кН [5]:

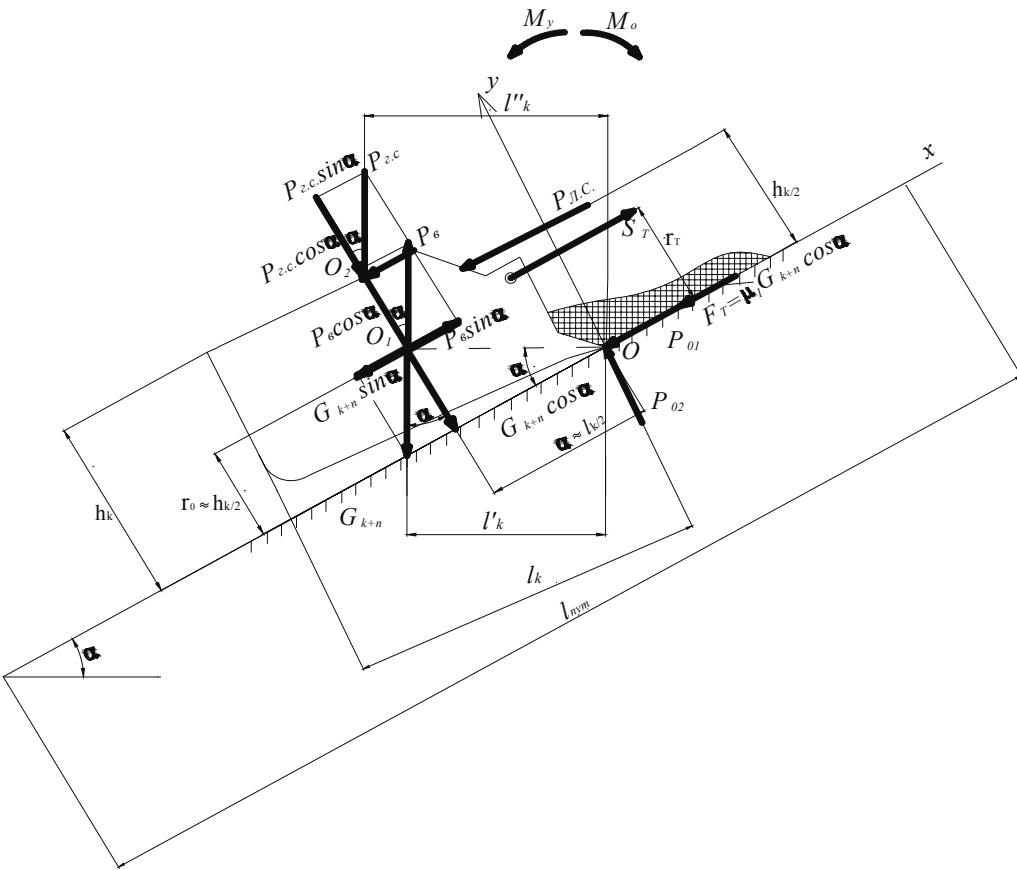


Рис. 4. Схема к расчету усилий, действующих на ковш скрепера

$$P_{rc} = \frac{10^{-3} \cdot \rho \cdot g \cdot H}{F},$$

где ρ — плотность жидкости, кг/м³; H — высота столба жидкости, м; F — площадь верхней части ковша, м²; V — объем ковша, м³; P_{rc} — сила лобового сопротивления, кН [5]:

$$P_{rc} = c \cdot S \frac{\rho \cdot V^2 \cdot 10^{-3}}{2},$$

где c — коэффициент лобового сопротивления:

$$c = \frac{24 \cdot v}{d_s \cdot V},$$

где v — кинематическая вязкость воды, м²/с; d_s — эквивалентный диаметр ковша, м; V_{rp} — скорость перемещения груженого ковша в воде, м/с; S — площадь проекции поверхности ковша на нормаль к вектору скорости (Миделево сечение), м². В расчетах принято: $S = h_k \cdot b$, где h_k — высота ковша, b — ширина ковша.

Решая совместно уравнения (7), (8) и (9), получаем [5]:

$$S_T = P_{01} [1 + K_1 (\mu_1 + \operatorname{tg} \alpha)] - (P_{rc} - P_B) \cdot \mu_1 \cdot \cos \alpha + P_{nc}, \quad (10)$$

$$r_T = \frac{(P_{nc} - P_{01} \cdot K_1) \cdot h_{k/2} \sin \alpha}{P_{01} \cdot [1 + K_1 (\mu_1 + \operatorname{tg} \alpha)] - (P_{rc} - P_B) \mu_1 \cdot \cos \alpha + P_{kc}}, \quad (11)$$

где $K_1 = P_{02} / P_{01}$.

Расчеты, полученные по формулам (10) и (11) показывают, что усилие тяги $S_T = 82$ кН, высота крепления тягового каната $r_T = 0,7$ м.

При этом мощность привода лебедки при копании составит:

$$P_{\text{тз}} = \frac{S_T \cdot V_{rp}}{\eta_{\text{тз}}} = \frac{82000 \cdot 1,37}{0,9} \cdot 10^{-3} = 125 \text{ кВт},$$

где V_{rp} — скорость перемещения груженого ковша, м/с; $\eta_{\text{тз}}$ — тягового механизма ($\eta_{\text{тз}} = 0,8 - 0,9$).

Обоснование параметров ковша

Большое значение в эффективной работе канатного скрепера имеют параметры рабочего органа и его устойчивость в процессе экскавации породы. Условие устойчивости ковша против опрокидывания определяется выражением:

$$S_T \cdot r_T - P_{rc} \cdot l''_k + P_B \cdot l'_k \leq G_{k+n} \cdot l'_k + P_{nc} \cdot h_{k/2} \quad (12)$$

При пустом ковше его масса m_k , с учетом выражений (10) и (11) и принятии условия: $l''_k \approx l'_k \approx l_{k/2} \cdot \cos \alpha$, равна

$$m_k \leq \frac{[P_{nc} (1 - \sin \alpha) + P_{01} \cdot K_1] / \cos \alpha - P_{rc} + P_B}{9} \quad (13)$$

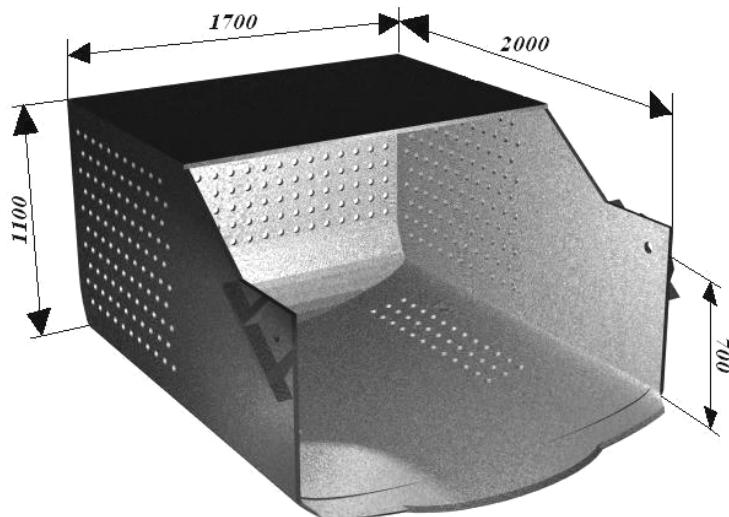


Рис. 5. Вид ковша СКШ с учетом степени перфорации

Для принятых геометрических параметров ковша (рис. 5) его масса, по расчетам (13), составляет: $m_k = 2,0$ т.

Повышение производительности скрепера, осуществляющего разработку обводненных забоев, достигают за счет применения перфорированных ковшей. Такие ковши имеют в боковых стенках и днище отверстия различных размеров, чаще всего круглой, иногда щелевидной формы. При этом в боковых стенках отверстия располагаются горизонтальными рядами и в шахматном порядке, а в задних стенках эти отверстия располагаются вертикально в один и два ряда.

Необходимо отметить, что перфорация стенок и днища ковша не только способствует увеличению коэффициента наполнения ковша, но и частично улучшает качество песчано-гравийной массы, так как глинистые и пылевидные частицы выносятся вытекающей через отверстия водой.

Степень перфорации ковша определяют как отношение суммы площадей отверстий в ковше к общей площади стенок и днища ковша [2]:

$$i_{pk} = \frac{\sum f_0}{\sum f_k} \leq 7\%.$$

где $\sum f_0$ — сумма площадей всех отверстий в ковше; $\sum f_k$ — суммарная площадь стенок и днища ковша.

Учитывая гранулометрический состав грунта, нами приняты диаметр отверстий 35 мм, а расстояние между отверстиями 50 мм (рис. 5).

С учетом изложенного, степень перфорации ковша СКШ составляет $i_{nk} = 4,4\%$.

Необходимо также отметить, что влажность песчано-гравийной массы, добываемой с перфорированным ковшом, уменьшается в среднем на 5 % по сравнению с песчано-гравийной массой, добываемой неперфорированным ковшом.

Для увеличения коэффициента наполнения ковша и уменьшения влажности добываемой песчано-гравийной массы отверстия необходимо располагать по всей площади задней стенки ковша и его днища. Задняя стенка и днище ковша должны перфорироваться отверстиями диаметром 35 мм, а боковые стенки — отверстиями 25 мм.

Песчано-гравийная масса, выносимая из ковша водой, вытекающей через отверстия в стенках и днище ковша, составляет 0,115 % к общему объему грунта в ковше (рис. 5) [2]. Следовательно, можно считать, что при добывании песчано-гравийной массы перфорированным ковшом с отверстиями диаметром 25–35 мм потери грунта практически отсутствуют.

Таким образом, рассчитанные теоретическим путем основные рабочие параметры канатного скрепера позволили разработать и создать механизированный комплекс, эффективно работающий при добыче обводненных песчано-гравийных смесей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гилёв, А.В. Особенности комплексной механизации добычи сырья для производства строительных материалов / А.В. Гилёв, Ф.Э.Шейн, Р.В.Суворов // Проблемы освоения минеральной базы Восточной Сибири: сб. науч. тр. / Под общ. ред. Б.Л. Тальгамера; ИрГТУ.-Иркутск, 2008. — С. 43—48.
2. Шпанский, О.В. Технология и комплексная механизация добычи нерудного сырья для производства строительных материалов / О.В. Шпанский, Ю.Д. Буянов // Учебное пособие для вузов. — М.: Недра, 1996. — 462 с.
3. Гилёв, А.В. Механизированный комплекс для добычи строительных материалов на обводненных месторождениях / А.В. Гилёв, Ф.Э. Шейн // Горное оборудование и электромеханика. — 2008. — № 6. — С. 18—20.
4. Подэрни, Р.Ю. Горные машины и комплексы для открытых горных работ / Р.Ю. Подэрни // Учебник для вузов.— М.: Недра, 1985. — 544 с.
5. Гейер, В.Г. Гидравлика и гидропривод / В.Г. Гейер, В.С. Дупин, А.Г. Боруменский, А.Н. Заря // Учебник для вузов. — М.: Недра, 1981, — 295 с. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Шейн Фердинанд Эмильевич – главный инженер, ООО «Торговый Дом» (производство нерудных строительных материалов), f.shain@gmail.com;
Гилёв Анатолий Владимирович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Горные машины и комплексы», Anatoliy.gilev@gmail.com;
Хомич Юрий Александрович – студент, Nook66@mail.ru;
Гилёва Наталья Николаевна – ведущий инженер кафедры «Горные машины и комплексы». Natalgileva@yandex.ru;
Сибирский федеральный университет.

