

Д.А. Асатрян, С.С. Арутюнян

МАШИНА И ТЕХНОЛОГИЯ ДОБЫЧИ СТЕНОВОГО КАМНЯ ПРАВИЛЬНОЙ ФОРМЫ ДЛЯ СТРАН С ГОРНЫМ РЕЛЬЕФОМ

Аннотация. Существующая технология и эффективность добычи камня рельсовыми машинами относительно низка: большие усилия резания, вибрации, сколы и трещины, оставленные ступенчатые неиспользованные участки на подошве карьера вместе с образованными большими отходами наносят огромный ущерб окружающей среде. Проблема усугубляется для стран с горным рельефом, где длина карьеров сравнительно мала. Частично изменилось назначение стенового камня: оно носит не только несущую, но и декоративную функцию для наружной облицовки со скалыванием лицевой стороны, образуя рельеф «скала». Вместо рельсовых разработаны новые колесные машины для добычи камня. Рассмотрены варианты машины с гидростатической трансмиссией с использованием гидроединиц компании Poclain Hydraulics. Кроме операционных разработаны также аналоги этих машин на базе шасси автопогрузчиков грузоподъемностью 5 т, что более перспективны для стран СНГ. Гибкая маневренность новых машин позволяет работать по новой технологией, обеспечивающей повышение степени использования карьера, исключение образование у краев карьера ступенчатых участков и возможность вторичное использование заброшенных карьеров. Установлено, что производительность колесных машин выше чем у рельсовых, благодаря повышенным скоростям резания и подачи, а также коэффициенту использованию машины во времени.

Ключевые слова: каменный карьер, камнерезная машина, стеновой камень, автопогрузчик, дисковая пила, гидроединицы.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-7-0-89-98

Цель работы

Стеновой камень правильной формы является одним из основных строительных материалов для таких стран с

горным рельефом как Армения, Италия, Казахстан, Мальта и др. Эффективность использования каменных карьеров относительно низка, поскольку используе-



Рис. 1. Вид карьера с горным рельефом при добыче камня рельсовой машиной

Fig. 1. The view of quarry with a mountain relief during the extraction of a stone by a rail machine

ISSN 0236-1493. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2018. № 7. С. 89–98.

© Д.А. Асатрян, С.С. Арутюнян. 2018.

мые в настоящее время технологии добычи и камнерезные рельсовые машины типа СМР-026/1, существующие уже несколько десятилетия, исчерпали все свои технические возможности для усовершенствования. Большие усилия резания при добыче горных пород прочностью до 40 МПа, вибрации многотонной машины, сколы и трещины, оставленные в конце выработки карьера ступенчатые недоиспользованные участки — «амфитеатры» вместе с образованными большими отходами добычи наносят огромный ущерб окружающей среде. На рис. 1 показана типичная картина подобного карьера при добыче камня рельсовой машиной СМР-026/1.

Эта проблема особенно усугубляется для стран с горным рельефом, где длина карьеров сравнительно мала и повышение эффективности добычи камня становится весьма актуальной проблемой.

Анализ размеров камней правильной формы показал, что в настоящее время в основном добывают штучные камни с поперечными размерами $H \times B$ не более 200...250 мм при стандартных длинах. Установлено также, что изменилась назначение стенового камня: помимо несущего оно носит также декоративную функцию для наружной облицовки со скалыванием лицевой стороны, образуя рельеф «скала».

Приведенное диктует целесообразность и необходимость создания специальной машины для добычи штучного камня такими параметрами. Такая машина должна обеспечить снижение усилий резания, вибрации, количества образованных сколов, трещин, возможность работы машины при повышенных скоростях резания и подачи. Отказ от рельсовой конструкции и создание колесной гибко маневрированной машины позволит работать по новой последовательности технологических операций, исключая образование остаточных

ступеней, что позволит также вторичное использование заброшенных недоиспользованных карьеров [1, 2].

При создании новых камнерезных машин большие перспективы таит в себе использование современных гидравлических единиц нового поколения не только в приводах камнерезных головах взамен коробок скоростей, но также в гидростатических трансмиссиях машины в качестве привода движения подачи [3, 4].

Полученные результаты

Разработки и исследования проведены для горных пород с прочностью до 40 МПа, когда в качестве режущего инструмента на машине используются сборные дисковые пилы диаметрами 800 мм и 630 мм шириной 12 мм, с резами, оснащенными пластинками из твердых сплавов или из поликристаллов алмаза при максимальной глубине резания 250 мм. Расчетные величины мощностей и крутящих моментов одной пилой 10 квт и 1200 нм, скорости резания и подачи, соответственно, до 6 м/с и до 5 м/мин [5, 6, 7]. Камерные шины машины заменены цельнолитыми для погрузчиков.

Для исключения образования на подошве у краев карьера ступенчатых участков необходимо, чтобы у новой машины режущие торцевые поверхности крайних дисковых пил перекрывали поперечную ширину машины. Эта задача решается при известной длине камня L , ширине пропила b_n и ширине B_m проектируемой или используемой базовой машины. Для варианта проектированной машины расстояние l_n между соседними пилами принято двойной длине выпиливаемого камня с учетом ширины пропила, т.е. $l_n = 2(L + b_n)$.

На рис. 2 показана схема поперечных перемещений машины при первой технологической операции — при выпол-

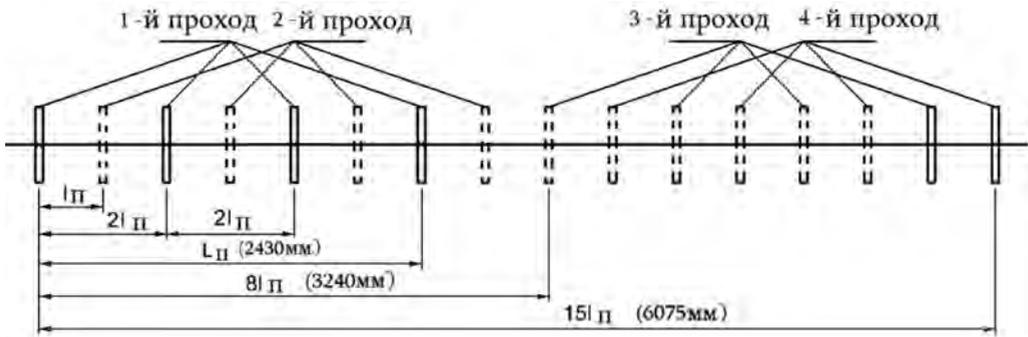


Рис. 2. Схема перемещения машины при поперечных проходах
 Fig. 2. The scheme of moving the machine with transverse operations

нении поперечных проходов, когда у машины на режущих головках установлены 4 дисковые пилы. После первого прохода машина в поперечном направлении передвигается на величину $L + b_n$, разрезая пополам камни в межпилных промежутках. Третья поперечное перемещение машина выполняет, перемещаясь в поперечном направлении на величину $8(L + b_n)$.

Пример: у проектированной машины на базе шасси погрузчика модели 4014 с шириной $B_m = 2350$ мм для добычи камня стандартных размеров

длиной $L = 390$ мм и шириной пропила $b_n = 15$ мм это перемещение составляет 3240 мм. Принципиальная схема и трансмиссия для новой колесной машины разработаны авторами совместно со специалистами из Гюмрийского АООТ «Каратмекена» с консультацией представителя из компании Poclain Hydraulics. Рассмотрены два варианта гидростатических трансмиссий с использованием гидроединиц компании Poclain Hydraulics, обеспечивающих скорость перемещения машины в пределах 0–5 м/мин:

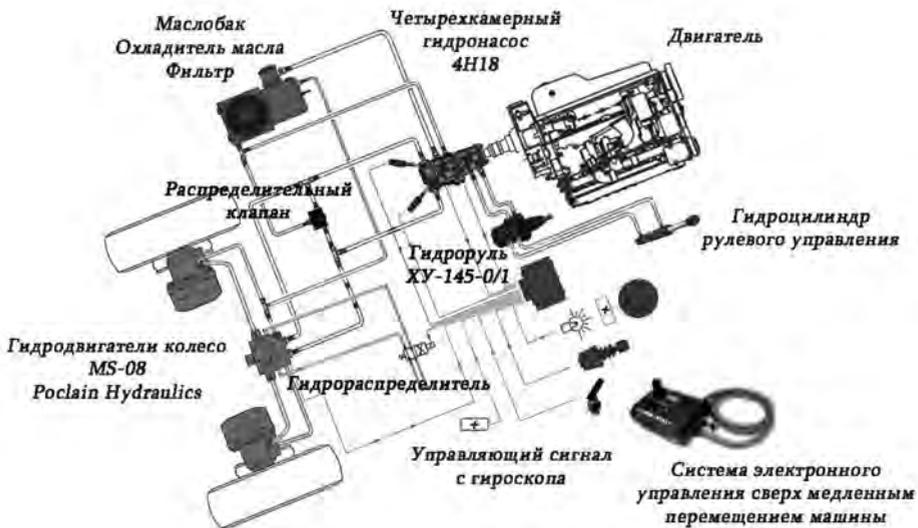


Рис. 3. Гидростатическая трансмиссия машины с гидродвигателями MS-08
 Fig. 3. The hydrostatic transmission of the machine with hydraulic motors MS-08

- с трансмиссией ADDIDRIVE Creep Drive с двигателем CDM 222-050, что более перспективно и целесообразно для принципиально новой колесной машины;

- с трансмиссией с гидродвигателями MS-08, что более целесообразно при изготовлении колесной машины на базе шасси автопогрузчиков (рис. 3).

Надписанные надписи раскрывают принципиальную схему трансмиссии.

В статье не приведен сопоставительный анализ вариантов создания наиболее оптимальной гидростатической трансмиссии и не рассмотрен вопрос создания новой колесной машины для добычи штучного камня правильной формы с точки зрения стоимости его изготовления. Подход авторов к этому вопросу иначе: создание такого варианта машины, который реален в его серийном изготовлении в настоящее время и потенциально массово внедрим в странах СНГ взамен существующих и устаревших рельсовых машин СМР-026/1 и др. Отметим, что их количество в странах СНГ более 5000 штук. Дальнейшие разработки авторов выполнены из этих соображений.

Разработаны рабочие чертежи опытного образца новой колесной машины на базе шасси автопогрузчиков Львовского завода «Автопогрузчик» с грузоподъемностью 5 т (модели 4014, АП-40810, АП-40814 и др.) в ходе выполнения темы # 13-2D106 Государственного Комитета Науки Республики Армения.

Разработаны 3 варианта машины:

- Операционная машина для выполнения поперечных проходов. Привод дисковых пил от двух гидромоторов МР-05 с двойными выходными валами и расстоянием между двумя дисковыми пилами 405 мм или от 4-х индивидуальных гидромоторов MS-08 с расстоянием между двумя дисковыми пилами 810 мм.

- Операционная машина продольного комбинированного прохода для отделения камня от массива: вертикального—тыльного и горизонтального—подошвенного. Привод вертикальной пилы от гидромотора MS-08, а для горизонтальной — от гидромотора МК-05.

- Комбинированная машина, включающая в себе конструктивные узлы и элементы операционных машин (рис. 4). Последовательно выполняются: поперечные проходы, когда горизонтальная ре-



Рис. 4. Комбинированная машина

Fig. 4. Combined machine

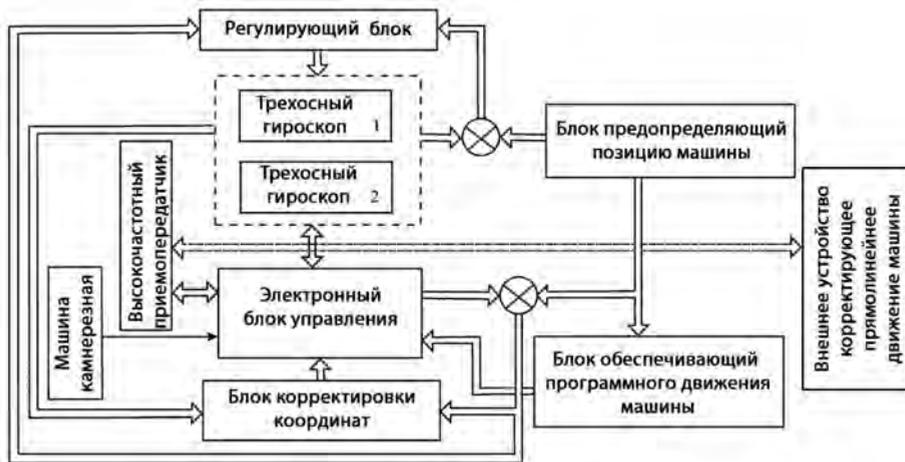


Рис. 5. Упрощенная блок-схема управления машины
 Fig. 5. The simplified unit scheme control of machine

жущая головка гидроцилиндром поднята вверх; продольные проходы: правые три дисковые пилы сняты и оставлена только одна у левой режущей головки, а горизонтальная режущая головка спущена вниз.

Важным для новой колесной машины становится задача обеспечения прямолинейного перемещения, отклонение от которого может возникать как от твердых включений в породе, так и от других посторонних причин. Если у рельсовых камнедобывающих машин прямолинейность перемещений обеспечивается рельсом, то у новой колесной машины она обеспечивается электронной системой

управления. Система состоит из трехосной гироскопической следящей системы, сервоусилителя, электромагнитного гидрораспределителя и реверсивного порционера, параллельно соединенный механизму гидросилителя рулевого управления, внешнего устройства, обеспечивающее — корректирующее прямолинейность движения машины (рис. 5). Такая система позволяет непрерывно следить за движением и мгновенно «вмешиваться» при любом его изменении.

На рис. 6 приведена схема для вывода зависимостей расчета величины отклонений от прямолинейности машины с гидростатической трансмиссией с двумя

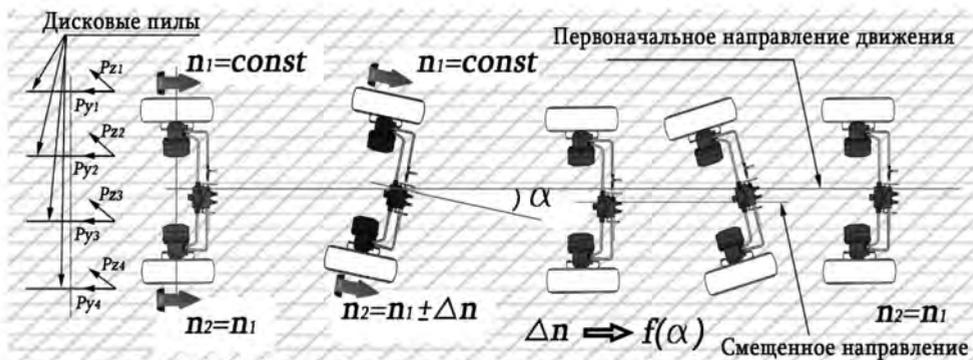


Рис. 6. Схема обеспечения прямолинейности движения машины
 Fig. 6. The scheme of ensure the straightness of the machine

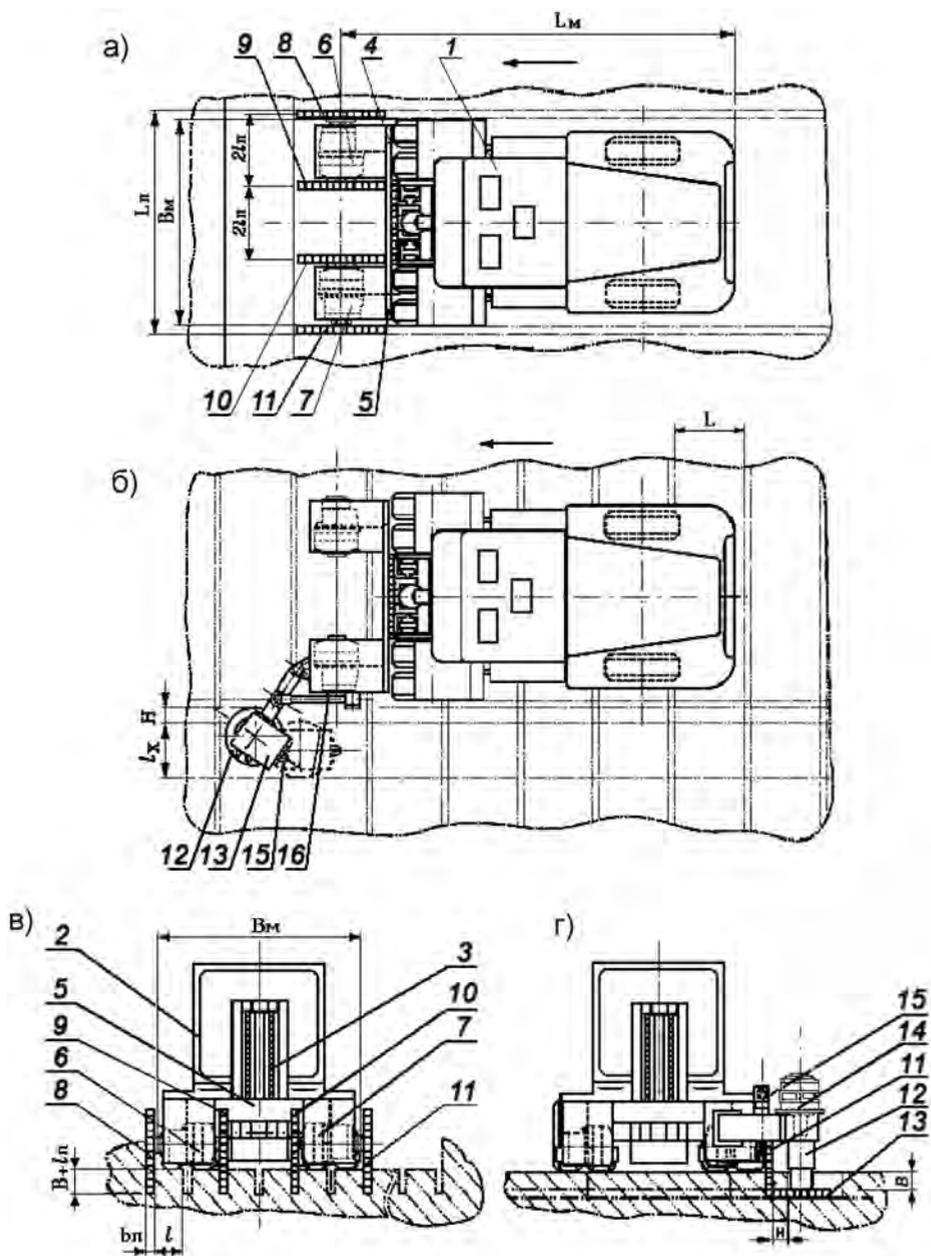


Рис. 7. Вид машины сверху (а, б) и спереди (в, г) при выполнении поперечного и продольного проходов. Узлы машины: 1 – самоходное шасси; 2 – кузов; 3 – вертикальные направляющие; 4 – салазки; 5 – траверса; 6, 7 – режущие головки; 8, 9, 10, 11 – вертикальные пилы; 12 – горизонтальная пила; 13 – вертикальная режущая головка; 14 – коромысло; 15, 16 – гидроцилиндры вертикального перемещения и поворота

Fig. 7. The view of the machine from above (a, b) and from the front (c, d) when performing transverse and longitudinal operations. Machine nodes: 1 – self-propelled chassis; 2 – body; 3 – vertical guides; 4 – sled; 5 – traverse; 6, 7 – cutting heads; 8, 9, 10, 11 – vertical saws; 12 – horizontal saw; 13 – vertical cutting head; 14 – rocker; 15, 16 – hydraulic cylinders of vertical displacement and turning

гидромотор—колесами. Выведены зависимости для расчета величин погрешностей смещения от изменяющихся усилий резания дисковых пил на прямолинейность движения машины с целью программирования электронной системы управления, обеспечивающий погрешности перемещения не превышающие предельно допустимые значения [8...12].

На рис. 7 показана принципиальная схема разработанной комбинированной машины при выполнении поперечного (рис. 7, а, в) и продольного (рис. 7, б, г) проходов. На подрисовочных надписях перечислены основные узлы машины, из которых нетрудно понять принцип ее компоновки и работы.

Технология добычи стенового камня правильной формы без образования ступеней на краях карьера (после предварительных работ вскрытия и образования продольного храма глубиной $B + b_n$ и шириной l_x более чем на 70...100 мм больше диаметра горизонтальной пилы) содержит следующие последовательно выполняемые операции:

1. Поперечные проходы с расстояниями между пропилами равными длине L камня по всей ширине карьера глубиной резания $B + b_n$ (рис. 7, а). Операция выполняется двумя переходами. Второй переход производится в обратном поперечном направлении, прорезая канавки на оставшемся непрорезанном участке шириной L_m длины машины.

2. Пропиливание на участках площадок шириной L_m с правой стороны карьера и шириной B_m с лицевой стороны карьера с расстояниями между пропилами равными высоте H камня по схеме, указанной на рис. 8 а. После первого прохода машина последовательно перемещается в поперечном направлении на величину $H = 0,5(L + b_n)$. После выполнения четырех проходов машина перемещается на величину $8(L + b_n)$. При

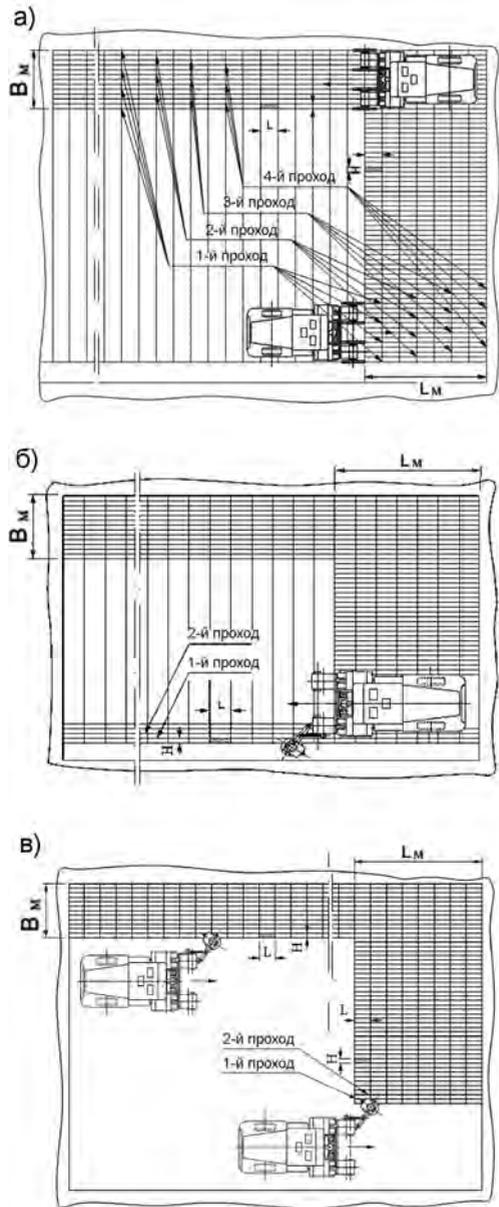


Рис. 8. Технология безостаточной добычи камня: прорезание на участках ступеней (а); продольное комбинированное (б): тыльное-вертикальное и подошвенное-горизонтальное резание; горизонтальное срезание уступов (в)

Fig. 8. The technology of a non-sufficient extraction of a stone: cutting at the sections of the steps (a); longitudinal combined operation: rear-vertical and plantar-horizontal cutting (b); horizontal cutting of ledges (c)

резании канавок на лицевой площадке после первого прохода с машины снимается левая пила и выполняются три поперечных перемещения. Фактически, после выполнения этой операции на площадке образуется сетчатый рисунок $L \times H$, показанный на рис. 8, в.

3. Продольное комбинированное тыльное-вертикальное и подошвенно-горизонтальное резание по всей длине карьера с отделением от массива камня размерами $L \times B \times H$ (рис. 8, б). После этой операции на площадке остаются ступени шириной L_m и B_m .

4. Машина спускается на образованную площадку и только горизонтальным резанием отделяет от ступени камней размерами $L \times B \times H$ (рис. 8, в).

Утилизация заброшенных карьеров, т.е. вторичное использование заброшенных карьеров, производится по аналогичной технологией. Эффективность использования заброшенных карьеров в целом зависит от геометрических параметров карьера, количества близлежащих к карьере отходов и т.д. Более ощутимая эффективность от вторичного использования будет при больших длинах заброшенных карьеров.

Производительность добычи стенового камня правильной формы новой машины сравнена с производительностью машины СМР-026/1. Производительности основных видов камнедобывающего и камнеобрабатывающего оборудования разделяются на технологическую P_t , цикловую $P_{ц}$ и фактическую $P_{ф}$. Для машин типа СМР-177А, СМР-026/1, СМР-028, СМР-076 и других технологическая производительность находится в пределах $P_t = 2...4$ м³/час [5]. В этой работе указано также, что фактическая производительность большинства видов обработки в 2...4 раза ниже цикловой и в 5...8 раз ниже технологической. В паспорте машины СМР-026/1 технологическая производительность в зависимости

от прочности туфа находится в пределах $P_t = 3...6$ м³/час. Учитывая вышеприведенное, а также накопленные данные по эксплуатации машины СМР-026/1, можно принять, что фактическая производительность ниже технологической приблизительно в 2,5...3,0 раза. Следовательно, для машины СМР-026/1 фактическая производительность составит $P_{ф} = 1,2...2,4$ м³/час и с этой величиной надо сравнивать производительность новой машины.

Выведена упрощенная зависимость для расчета фактической производительности новой машины (с четырьмя вертикальными и одной горизонтальной пилами):

$$P_{ф} = 240 H^2 L S_{пр} K_{вр} K_r / (H + 4L) K_{ов},$$

где $S_{пр}$ — приведенная (продольная или поперечная) подача машины, в м/мин; $K_{вр}$ — коэффициент использования машины во времени; K_r — коэффициент выхода годной продукции; $K_{ов}$ — коэффициент оперативного времени, учитывающий общее время, затраченное на резание и вспомогательные операции.

Пример расчета производительности новой машины произведен при добыче туфа размерами 390×240×188 мм прочностью 25...40 МПа у которой:

- диаметр вертикальных пил $D = 800$ мм, число зубьев $Z = 30$, скорость резания $V = 200$ м/мин, число оборотов $n = 80$ об/мин, подача на зуб $S_z = 0,6...1$ мм/зуб, минутная подача $S_{ноп} = 1440...2400$ мм/мин;

- для горизонтальной пилы: $D = 630$ мм, $Z = 24$, $V = 200$ м/мин, $n = 100$ об/мин, $S_z = 0,6...1$ мм/зуб, $S_{пр} = 1440...2400$ мм/мин;

- принятые коэффициенты: $K_{вд} = 0,85...0,90$; $K_r = 0,85...0,90$; $K_{ов} = 1,15...1,20$.

При $S_{пр} = 2$ м/мин фактическая производительность новой машины составит 2,2...3 м³/ч, что в среднем в 1,2...1,8 ра-

за выше производительности машины СМР-026/1. Увеличение производительности обеспечивается за счет больших скоростей подачи, повышения процента выхода годной продукции и степени использования машины во времени, а также сокращения времени на вспомогательные операции.

Заключение

• Предварительный приближенный анализ показывает, что стоимость новой машины на базе использованного погрузчика с комплектацией гидроагрегатов Poclain Hydraulics в среднем 1,5...2 раза меньше стоимости СМР-026/1.

• Производительность новой колесной машины превышает производительность рельсовой машины СМР-026/1. Стоимость штучного камня благодаря исключению времени на перестановку рельсов, сокращению количества отходов и некондиционированного камня, рациональному использованию машинной времени ориентировочно в 1,5—2 раза меньше.

• Использование новых машин обещает значительное улучшение состояния окружающей среды близлежащих районов карьеров и даст определенный экономический эффект от вторичного использования заброшенных карьеров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Асатрян Д. А., Мкртчян Н. Г., Мсрян Ф. А., Арутюнян С. С. Патент РА № 2841 А от 01.02.2014. Машина для добычи камня. 2014. Бюл. № 5.
2. Асатрян Д. А., Арутюнян С. С., Мкртчян Н. Г., Мсрян Ф. А. Патент РА № 2861 А от 05.03.2014. Способ добычи камня. 2014. Бюл. № 7.
3. <http://www.poclain-hydraulics.com/general-high-performance-brochure.pdf> (дата обращения 15.03.2016).
4. <http://www.poclain-hydraulics.com/addidrive-for-truks.pdf> (дата обращения 02.06.2016).
5. Картавий Н. Г., Сычев Ю. И., Волуев И. В. Оборудование для производства облицовочных материалов из природного камня. — М.: Машиностроение, 1988. — 240 с.
6. Михайлов Ю. И., Осадчук Е. С., Спиваков Ф. П., Демченко И. И. Технология и механизация добычи пыльного камня. — М.: Недра, 1981. — 236 с.
7. Бакка Н. Т., Карасев Ю. Г. Природный камень, добыча блочного и стенового камня. — СПб., 1997. — 428 с.
8. Kalman R. E. A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems. Research Institute for Advanced Study, Journal of Basic Engineering, 82 (Series 2D). Baltimore, Md. Copyright © 1960 by ASME. pp. 35—45:
9. Grewal M. S., Andrews A. P. Kalman filtering: Theory and practice Using MATLAB. Wiley-Interscience. Second Edition, Copyright © 2001 John Wiley & Sons, Inc. 410 p.
10. Koruba Z., Dziopa Z., Krzysztofik I. Dynamics and control of a gyroscope-stabilized platform in a self-propelled anti-aircraft system // Journal of Theoretical and Applied Mechanics, 48, 1, Warsaw 2010, pp. 5—26.
11. Бриндли К. Измерительные преобразователи. Справочное пособие / Перевод с англ. под ред. Е. И. Сычева. — М.: Энергоатомиздат, 1991. — 144 с.
12. Шадрин С. С. Методология создания систем управления движением автономных колесных транспортных средств, интегрированных в интеллектуальную транспортную среду. Дис. канд. техн. наук. — М.: МАДИ, 2017. — 400 с. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Асатрян Джон Александрович¹ — кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой, e-mail: eaagb@yandex.ru,
Арутюнян Самвел Сережаевич¹ — инженер,

¹ Национальный политехнический университет Армении.

Machine and technology of cutting regular-shape face stone in mountainous countries

Asatryan D.A.¹, Candidate of Technical Sciences,
Assistant Professor, Head of Chair, e-mail: eaagb@yandex.ru,

Arutyunyan S.S.¹, Engineer,

¹ National Polytechnic University of Armenia, Gyumri branch,
3103, Gyumri, Armenia.

Abstract. Regular-shape face stone is one of the basic construction materials in mountainous countries. The current technology and performance of stone cutting by rail-mounted machines are comparatively inefficient: high cutting forces, vibration, shears and cracks, incompletely cut benches left at quarry bottoms as well as huge accumulations of waste greatly damage the environment. This problem is even more severe in mountainous countries where length of quarries is rather small. According to the analysis of sizes of regular-shape stones, dimension stones currently produced have cross dimensions not more than 200–250 mm. The purpose of face stone is also changed: it is not a load bearer but a decorative face-work now, and its face side is chipped in order to look like a “rock.” Instead of rail-mounted machines, new wheeled machines are engineered for stone cutting. This article discusses machines with hydrostatic transmission and hydraulic units manufactured by Poclairn Hydraulics. Moreover, analogous machines based on chassis of automatic loaders 5 tons in capacity are engineered, which is promising for the CIS countries. Flexibility and maneuverability of these machines allow operating a new technology enabling better utilization of quarry space, eliminating terraced edges at the top of quarries and reclamation of abandoned quarries. It is found that wheeled machines have higher productivity than rail-mounted machines owing to increased rates of cutting and advance as well as higher coefficient of utilization of a machine in time.

Key words: stone quarry, stone-cutting machine, building block, automatic loader, saw blade, hydraulic aggregates.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-7-0-89-98

REFERENCES

1. Asatryan D. A., Mkrtychyan N. G., Msryan F. A., Arutyunyan S. S. *Patent RA 2841 A*, 01.02.2014.
2. Asatryan D. A., Arutyunyan S. S., Mkrtychyan N. G., Msryan F. A. *Patent RA 2861 A*, 05.03.2014.
3. <http://www.poclairn-hydraulics.com/general-high-performance-brochure.pdf> (accessed 15.03.2016).
4. <http://www.poclairn-hydraulics.com/addidrive-for-truks.pdf> (accessed 02.06.2016).
5. Kartavyy N. G., Sychev Yu. I., Voluev I. V. *Oborudovanie dlya proizvodstva oblitsovochnykh materialov iz prirodnogo kamnya* [Equipment for production of facing materials from natural stone], Moscow, Mashinostroenie, 1988, 240 p.
6. Mixaylov Yu. I., Osadchuk E. S., Spivakov F. P., Demchenko I. I. *Texnologiya i mexanizatsiya dobychi pil'nogo kamnya* [Technology and mechanization of stone sawing], Moscow, Nedra, 1981, 236 p.
7. Bakka N. T., Karasev Yu. G. *Prirodnyy kamen', dobycha blochnogo i stenovogo kamnya* [Natural stone, building block production], Saint-Petersburg, 1997, 428 p.
8. Kalman R. E. A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems. Research Institute for Advanced Study, *Journal of Basic Engineering*, 82 (Series 2D). Baltimore, Md. Copyright © 1960 by ASME. pp. 35–45:
9. Grewal M. S., Andrews A. P. *Kalman filtering: Theory and practice Using MATLAB*. Wiley-Interscience. Second Edition, Copyright © 2001 John Wiley & Sons, Inc. 410 p.
10. Koruba Z., Dziopa Z., Krzysztofik I. Dynamics and control of a gyroscope-stabilized platform in a self-propelled anti-aircraft system. *Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, 48, 1, Warsaw 2010, pp. 5–26.
11. Brindli K. *Izmeritel'nye preobrazovateli*. Spravochnoe posobie. Perevod s angl. pod red. E. I. Sycheva [Measuring transducers. Reference book. Translation from English. under the editorship of Sychev E. I.], Moscow, Energoatomizdat, 1991, 144 p.
12. Shadrin S. S. *Metodologiya sozdaniya sistem upravleniya dvizheniem avtonomnykh kolesnykh transportnykh sredstv, integrirovannykh v intellektual'nuyu transportnuyu sredu* [Methodology to control traffic of stand alone vehicles integrated in an intelligent transportation system], Candidate's thesis, Moscow, MADI, 2017, 400 p.