

Учредитель: Издательство "НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ"

Главный редактор

КАНТОВИЧ Л.И., д.т.н., проф.

Зам. гл. редактора:

ИВАНОВ С.Л., д.т.н., проф.

ЛАГУНОВА Ю.А., д.т.н., проф.

Редакционный совет:

КОЗОВОЙ Г.И., д.т.н.

(сопредседатель)

ТРУБЕЦКОЙ К.Н., акад. РАН, д.т.н.

(сопредседатель)

АНТОНОВ Б.И.

ГАЛКИН В.А., д.т.н.

КОЗЯРУК А.Е., д.т.н., проф.

КОСАРЕВ Н.П., д.т.н., проф.

МЕРЗЛЯКОВ В.Г., д.т.н., проф.

НЕСТЕРОВ В.И., д.т.н., проф.

ЧЕРВЯКОВ С.А., к.т.н.

Редакционная коллегия:

АБРАМОВИЧ Б.Н., д.т.н., проф.

АНДРЕЕВА Л.И., д.т.н.

ГАЛКИН В.И., д.т.н., проф.

ГЛЕБОВ А.В., к.т.н.

ЕГОРОВ А.Н. (Белоруссия)

ЖАБИН А.Б., д.т.н., проф.

ЗЫРЯНОВ И.В., д.т.н.

МУХОРТИКОВ С.Г., д.т.н., проф.

МЫШЛЯЕВ Б.К., д.т.н., проф.

ПЕВЗNER Л.Д., д.т.н., проф.

ПЕТРОВ В.Л., д.т.н., проф.

ПЛЮТОВ Ю.А., к.т.н., доц.

ПОДЭРНИ Р.Ю., д.т.н., проф.

САМОЛАЗОВ А.В.

СЕМЕНОВ В.В., к.т.н.

СТАДНИК Н.И. (Украина), д.т.н., проф.

ТРИФАНОВ Г.Д., д.т.н., доц.

ХАЗАНОВИЧ Г.Ш., д.т.н., проф.

ХОРЕШОК А.А., д.т.н., проф.

ЮНГМЕЙСТЕР Д.А., д.т.н., проф.

Редакция:

БЕЛЯНКИНА О.В.

ДАНИЛИНА И.С.

Телефон редакции:

(499) 269-53-97

Факс: (499) 269-55-10

Email: gma@novtex.ru

http://novtex.ru/gormash

СОДЕРЖАНИЕ

ПОДЗЕМНЫЕ РАБОТЫ

Мерзляков В. Г., Разумняк Н. Л. Проведение подготовительных выработок на гидрошахтах с использованием тонких струй высокого давления 3

Жабин А. Б., Фомичев А. Д. Определение показателей работы шнеко-фрезерного исполнительного органа стволопроходческого агрегата АСП-8,0 при погружном режиме работы 7

БУРОВЫЕ РАБОТЫ

Страбыкин Н. Н. Оптимизация процесса бурения взрывных скважин в многолетне-мерзлых сложноструктурных массивах карьеров Севера РФ 13

ТРАНСПОРТ

Сергеев В. В., Кусов З. М., Марзоев Т. Ф. Классификация способов и средств борьбы с прилипанием и примерзанием полезного ископаемого в процессе погрузки, транспортирования и доставки 21

АВТОМАТИЗАЦИЯ

Кузнецов В. Ф. Моделирование полюсного и якорного управления многодвигательным электроприводом механизма поворота экскаватора-драглайна . . . 31

НАУЧНЫЕ РАЗРАБОТКИ

Хорешок А. А., Пудов Е. Ю. Проектирование перспективного конструктивного исполнения ковша гидравлического экскаватора схемы "обратная лопата" . . . 37

ИНФОРМАЦИЯ

Егоров А. Н., Трухнов Л. И., Насковец А. М. Новая линейка самосвалов с электромеханической трансмиссией переменного тока серии БелАЗ-7558 грузоподъемностью 90 т 45

Журнал включен в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук, и входит в систему Российского индекса научного цитирования.

GORNOE OBORUDOVANIE I ELEKTROMECHANIKA

Editor-in-Chief

KANTOVICH L.I., Dr. Sci. (Tech.)

Deputy Editor-in-Chief:

IVANOV S.L., Dr. Sci. (Tech.)
LAGUNOVA Yu.A., Dr. Sci. (Tech.)

Editorial Council:

KOZOVY G.I. (co-chairman), Dr. Sci. (Tech.)
TRUBETSKOY K.N. (co-chairman),
Dr. Sci. (Tech.), Acad. RAS
ANTONOV B.I.
GALKIN V.A., Dr. Sci. (Tech.)
KOZYARUK A.E., Dr. Sci. (Tech.)
KOSAREV N.P., Dr. Sci. (Tech.)
MERZLYAKOV V.G., Dr. Sci. (Tech.)
NESTEROV V.I., Dr. Sci. (Tech.)
CHERVYAKOV S.A., Cand. Sci. (Tech.)

Editorial Board Members:

ABRAMOVICH B.N., Dr. Sci. (Tech.)
ANDREEVA L.I., Dr. Sci. (Tech.)
GALKIN V.I., Dr. Sci. (Tech.)
GLEBOV A.V., Cand. Sci. (Tech.)
EGOROV A.N. (Belarus)
ZHABIN A.B., Dr. Sci. (Tech.)
ZYRYANOV I.V., Dr. Sci. (Tech.)
MUKHORTIKOV S.G., Dr. Sci. (Tech.)
MYSHLYAEV B.K., Dr. Sci. (Tech.)
PEVZNER L.D., Dr. Sci. (Tech.)
PETROV V.L., Dr. Sci. (Tech.)
PLYUTOV Yu.A., Cand. Sci. (Tech.)
PODERNI R.Yu., Dr. Sci. (Tech.)
SAMOLAZOV A.V.
SEMENOV V.V., Cand. Sci. (Tech.)
STADNIK N.I. (Ukraine), Dr. Sci. (Tech.)
TRIFANOV G.D., Dr. Sci. (Tech.)
KHAZANOVICH G.Sh., Dr. Sci. (Tech.)
KHORESHOK A.A., Dr. Sci. (Tech.)
YUNGMEYSTER D.A., Dr. Sci. (Tech.)

Editorial Staff:

BELYANKINA O.V.
DANILINA I.S.

CONTENTS

UNDERGROUND MINING

Merzlyakov V. G., Razumnyak N. L. Conducting of Preparatory Excavations on Hydromines with the Use of Thin Jets of High Pressure 3

Zhabin A. B., Fomichev A. D. Defining Performance of Auger-Milling Executive Shaft Sinking Assembly АСП-8, 0 for Immersion Work Mode 7

DRILLING OPERATIONS

Strabykin N. N. Process Optimization for Drilling Blastholes through Permafrost Massifs Varied Lithologi in Open Pits in Nortner Russia 13

TRANSPORT

Sergeev V. V., Kusov Z. M., Marzoev T. F. Classification of Methods and Means of Dealing with Adhesion and the Freezing of Minerals in the Process of Loading, Transportation and Delivery 21

AUTOMATION

Kuznetsov V. F. Modelling of Polar and Armature Control for Multiengine Electrodrive Machinery Excavator Dragline Rotation 31

RESEARCH AND DEVELOPMENT

Khoreshok A. A., Pudov E. Yu. Designing of Prospective Performance Bucket of Hydraulic "Backhoe" Excavator 37

INFORMATION

Egorov A. N., Trukhnov L. I., Naskovec A. M. The New Line of Dump Trucks with Electromechanical Transmission the AC Series BelAZ-7558 Capacity of 90 t . . . 45

Information about the journal is available online at:
<http://novtex.ru/gormash>, e-mail: gma@novtex.ru

УДК 622.261

В. Г. Мерзляков, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой, МГМУ (МАМИ) Машиностроительный университет, г. Москва,
Н. Л. Разумняк, д-р техн. наук, УК "Прокопьевскуголь", г. Прокопьевск

E-mail: mgou-vgm@mail.ru

Проведение подготовительных выработок на гидрошахтах с использованием тонких струй высокого давления

Рассмотрены достоинства и недостатки традиционной технологии гидродобычи с использованием опыта ее эксплуатации на шахтах УК "Прокопьевскуголь". Выполнен анализ и обоснованы перспективные направления повышения эффективности новой технологии проведения подготовительных выработок по углю с использованием тонких струй высокого давления.

Ключевые слова: гидравлическая технология добычи угля, проведение подготовительных выработок, разрушение угля тонкими струями высокого давления

Гидравлическая технология добычи угля является наиболее эффективным способом разработки крутых пластов, характеризующихся сложными горно-геологическими условиями, высокой газообильностью и склонностью углей к самовозгоранию, что характерно для шахт Прокопьевско-Киселевского месторождения Кузбасса.

Опытом отработки самовозгорающихся пластов установлены основные параметры выемочных блоков: длина 100...150 м, высота 100...120 м при угле падения пласта более 30°. Подготовка выемочного блока осуществляется проведением по угольному пласту грузоходового ската, пульпоспускной и вентиляционных печей с применением буровзрывных работ и подэтажных штреков с применением буровзрывного, механизированного, гидравлического способов и отбойных молотков. Подэтажные штреки проходятся через 7...15 м по падению пласта с наклоном 3...4° в сторону пульпоспускной печи. Как показывает практика работы гидрошахт, проведение подготовительных выработок и очистная выемка осуществляются с использованием гидромониторов типа 12 ГД и 16 ГД.

Гидравлическая выемка угля в очистном забое осуществляется заходками из выемочных подэтажных штреков с применением гидромониторов, к которым подается технологическая вода по трубам под давлением до 12 МПа. После выемки угля из заходки трубопровод сокращается, а гидромонитор перемещается по подэтажному штреку на 6...8 м и устанавливается для отработки очередной заходки.

Преимущества гидравлической технологии доказывают многолетний опыт ее применения и высокие технико-экономические показатели: себестоимость добычи угля на гидрошахтах в 1,4—1,6 раза ниже чем на "сухих", производительность труда рабочего составляет 51...55 т/мес, что в 2 раза превышает достигнутую на шахтах с традиционной буровзрывной технологией. Сравнительный анализ травматизма и аварийности показывает, что применение гидротехнологии в условиях крутого падения пластов также обеспечивает более высокие показатели безопасности и улучшение условий труда горнорабочих.

Вместе с тем применение гидромониторной технологии для ведения очистных и проходческих работ с использованием гидромониторов типа 12 ГД и 16 ГД приводит к ряду негативных явлений:

- при очистной выемке гидромониторной струей с давлением 10,0 МПа эффективность разрушения угольного массива высотой 7...10 м с коэффициентом крепости угля $f = 2,5...3,0$ по шкале проф. М. М. Протодяконова резко снижается при увеличении рабочей длины струи. В радиусе 7...8 м от подэтажного штрека требуется доразрушение угольного массива буровзрывным способом;
- при проведении выемочных подэтажных штреков сечением до 7 м² образуется большое опережение незакрепленного выработанного пространства, что приводит к обрушению кровли выработки, расслоению массива по кливажу угля и травмированию проходчиков при креплении горных выработок;

- контур выработки при гидромониторном способе проходки имеет большие отклонения от заданных параметров, трудно контролируем в процессе ее проведения, пустоты, образованные в кровле выработки, резко усложняют трудоемкость крепления и снижают его надежность;
- удельные затраты по электроэнергии при проведении горных работ достигают 300 кВт/ч на 1 т добычи угля.

Проблема также состоит в том, что в условиях непомерного роста цен на электроэнергию и оборудование возрастает негативная значимость базовых неустранимых недостатков гидротехнологии в ее традиционном виде. В результате обостряется необходимость в поиске новых более совершенных направлений этой технологии при комплексном решении вопросов обеспечения безопасных условий работы.

В связи с этим особый интерес представляет разработка технологии разрушения угля тонкими струями высокого давления (40...120 МПа) для проведения по углю горизонтальных и восстающих подготовительных выработок, которая позволяет существенно повысить управляемость процессом разрушения массива, обеспечивающую возможность адаптироваться к усложняющимся горно-геологическим условиям, а за счет высокой удельной концентрации энергии струи обеспечить увеличение темпов проведения подготовительных выработок.

Впервые эта технология прошла апробацию на шахте "Анжерская Южная" при проходке подготовительных выработок по углю крепостью $f = 1,7...1,8$. В качестве оборудования для генерирования струй воды давлением 36...40 МПа использовался насос СНТ-32 с расходом порядка 2,0...2,3 м³/ч (33...38 л/мин). Разрушение угля производилось ручным гидроструйным инструментом со струеформирующей насадкой 1,7...1,8 мм. При работе в три шестичасовые смены производительность проходки выработки сечением порядка 5 м² составляла до 9 м в сутки. Очевидно, что указанная производительность не гарантирует своевременного выполнения комплекса подготовительных работ, обеспечивающих использование прогрессивных технологических схем ведения очистных работ с использованием гидротехнологии. В то же время была доказана возможность ведения проходческих работ с использованием тонких струй высокого давления и сделан вывод о необходимости дальнейшего совершенствования этой технологии.

В общем случае могут быть рассмотрены следующие варианты технологических схем проходки

подготовительных выработок с использованием струй воды высокого давления.

1. Обработка забоя ручным тонкоструйным инструментом с давлением воды 40...120 МПа и диаметром насадки, обеспечивающим выполнение условия ограничений реакции струи величиной не более 150 Н.

2. Использование тонкоструйного гидромонитора ближнего боя, подвижно установленного на переносной стойке, с разрушением забоя гидромониторной струей диаметром 3...5 мм с давлением воды 30...50 МПа.

3. Комбинированное использование ручного тонкоструйного инструмента и гидромонитора ближнего боя.

Остановимся более подробно на достоинствах и недостатках указанных технологических схем.

При работе по первой технологической схеме оконтуривание выработки и выемка угля осуществляются ручным гидроструйным инструментом. С использованием многолетнего опыта комплексных исследований эффективности разрушения угля и горных пород струями воды высокого давления, полученных в НИЦ ГП — ИГД им. А. А. Скочинского с участием авторов и канд. техн. наук В. Е. Бафталовского [1, 2], в табл. 1 приведены расчетные данные, показывающие влияние давления воды перед насадкой на глубину прорезаемой щели, энергоемкость нарезания щели и потребляемую мощность насосного оборудования.

Значения показателей эффективности нарезания щели в угольном массиве различной прочности f рассчитаны применительно к использованию выпускаемого в России серийного насосного оборудования.

Таблица 1
Эффективность нарезания щели ручным тонкоструйным инструментом в угольном массиве различной прочности

Параметры	Давление воды, МПа				
	40	50	72	100	120
Диаметр насадки, мм	1,63	1,46	1,22	1,03	0,94
Глубина щели, мм:					
$f = 1,7$	91	109	146	190	219
$f = 2,5$	59	72	97	127	147
$f = 3,0$	48	58	80	105	121
Энергоемкость, кВт · ч/м ² :					
$f = 1,7$	1,0	1,0	0,9	0,8	0,7
$f = 2,5$	1,6	1,5	1,3	1,2	1,1
$f = 3,0$	2,0	1,8	1,6	1,4	1,3
Мощность струи, кВт	33,6	37,6	45,1	53,2	58,3

Анализ данных табл. 1 показывает, что увеличение давления воды перед насадкой является важнейшим направлением совершенствования технологии гидравлического резания угля, поскольку позволяет одновременно со значительным повышением эффективности нарезания щели существенно снизить энергоемкость ее нарезания. Следует отметить, что глубина щели, которая может быть прорезана струей воды из насадки диаметром 0,94 мм с давлением 120 МПа, для всех использованных в расчетах значений крепости угля в 2—2,5 раза превосходит параметры щели, нарезаемой при ведении проходческих работ на шахте "Анжерская Южная". В результате скорость проведения выработки может быть увеличена как минимум в 2 раза и составит 18...20 м в сутки.

Работа по второй схеме производится с использованием гидромонитора ближнего боя, подвижно установленного на легкой переносной стойке с запиткой от насоса высокого давления. Расстояние от насадки до забоя принимается равным 300 мм. В табл. 2 приведены параметры насосного оборудования отечественного производства и расчетные характеристики гидромониторов ближнего боя на их основе.

Длина начального участка струи определялась с учетом высокого качества струеформирования из соотношения

$$l_H = 70d_0,$$

Таблица 2

Характеристики оборудования для гидроотбойки с использованием гидромониторов ближнего боя

Параметры	Марка насоса		
	УН 200/320	УВД 6/630	Насос ВД
Мощность, кВт	130	130	75
Подача, л/мин	200	100	55
Давление воды, МПа	32	50	72
Диаметр насадки, мм	4,31	2,73	1,85
Длина начального участка струи, м	0,3	0,19	0,13
Сила воздействия на забой, Н	1512	945	624

Таблица 3

Глубина зарубных щелей, прорезаемых струей воды в угле различной крепости

Марка насоса	P_0 , МПа	d_0 , мм	Глубина щели, мм		
			$f=1,7$	$f=2,5$	$f=3,0$
УН 200/320	32	4,31	177	113	91
УВД 6/630	63	2,73	249	165	135
Насос ВД	72	1,85	167	111	91

где l_H — длина начального участка струи, т. е. участка струи, на котором осевое давление струи сохраняется постоянным и равным давлению воды в стволе гидромонитора; d_0 — диаметр выходного отверстия гидромониторной насадки.

Разрушение забоя гидромониторной струей высокого давления осуществляется за счет нарезания зарубных щелей с последующим сколом межщелевых целиков. В табл. 3 приведены значения глубины зарубных щелей, которые могут быть нарезаны с использованием насосного оборудования, приведенного в табл. 2. При этом учитывалось влияние длины начального участка на снижение осевого динамического давления струи на расстоянии 0,3 м от насадки.

Совместный анализ табл. 1 и 2 показывает, что использование насоса высокого давления (ВД) для запитки гидромонитора ближнего боя нецелесообразно из-за низкого значения силы воздействия струи на забой, которая не позволяет использовать высокопроизводительный процесс гидроотбойки и вынуждает производить практически сплошное разрушение поверхности забоя и не позволяет добиться существенного повышения производительности по сравнению с технологией использованной на шахте "Анжерская Южная". Кроме того, из-за малой длины начального участка на расстоянии 0,3 м от насадки разрушающая способность струи с указанными параметрами дополнительно снижается на 25 %. При этом выполнение операции оконтуривания забоя становится крайне неэффективной.

Ведение проходки с использованием насоса УВД 6/630 не позволяет существенно увеличить глубину прорезаемой щели из-за уменьшения диаметра струеформирующей насадки. Однако достаточно большая сила воздействия на забой позволяет использовать эффект гидроотбойки за счет оптимизации схемы обработки площади забоя.

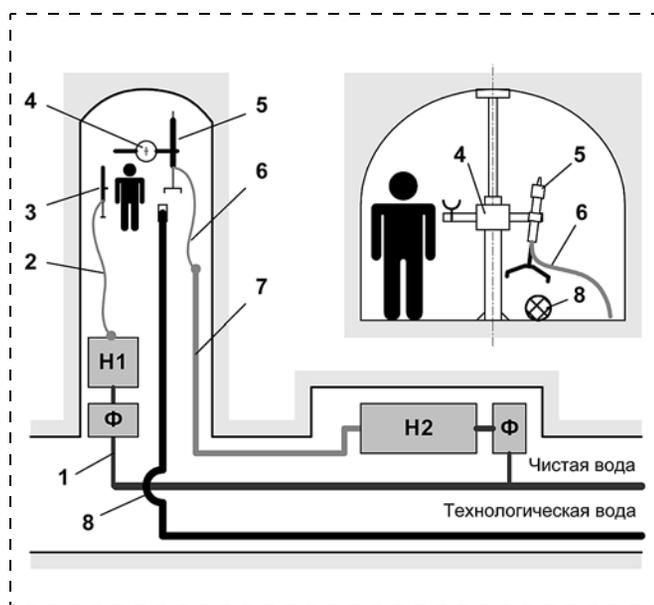
Максимальный эффект гидроотбойки может быть получен при использовании насоса УН 200/320. При этом за счет большой длины начального участка (см. табл. 2) работа по нарезанию зарубных щелей будет происходить без снижения осевого динамического давления струи.

Общим недостатком использования гидромониторов ближнего боя является низкая эффективность операции оконтуривания забоя, которая не позволит в полной мере использовать преимущества гидроструйной технологии для увеличения темпов проведения подготовительных выработок.

Наиболее рациональной, на наш взгляд, является разработанная в ННЦ ГП — ИГД им. А. А. Скочинского с нашим участием технологическая схема проходки подготовительных выработок с использованием двух типов насосного оборудования и струй воды высокого давления с раздельной обработкой забоя в два цикла.

Схема размещения оборудования для реализации этой технологической схемы проходки подготовительных выработок представлена на рисунке. В качестве насоса Н1 могут быть использованы насосы как отечественного производства с давлением 72 и 120 МПа, так и насосы фирмы "Хаммельман" (Германия) с аналогичными параметрами. Для запитки гидромонитора ближнего боя могут быть с успехом использованы как приведенные выше насосы типа УН 200/320 и УВД 6/630, так и насосы других марок с аналогичными параметрами.

Комбинированная циклическая схема ведения работ предусматривает следующую последовательность выполнения операций. Сначала с использованием насоса высокого давления Н1 ручным инструментом производится оконтуривание выработки на глубину 300...500 мм и образование первичного вруба у почвы выработки или в центральной части



Технологическая схема проходки подготовительной выработки с использованием ручного режущего инструмента и гидромонитора ближнего боя:

1 — водовод с технической чистой водой; 2 — шланг высокого давления; 3 — ручной режущий инструмент; 4 — переносная стойка; 5 — гидромонитор; 6 — шланг; 7 — водовод высокого давления; 8 — водовод низкого давления для гидросмыва

забоя. Глубина нарезания зарубных щелей при проведении этой операции приведена в табл. 1. Затем разрушение забоя осуществляется гидромониторной струей, генерируемой от насоса Н2, в сторону плоскостей дополнительного обнажения. Возможен вариант ведения работ с нарезанием зарубных щелей по всей площади забоя глубиной 300...500 мм параллельно почве с последующим разрушением целиков гидромониторной струей.

Представляется целесообразной также организация работ одновременно в двух проходческих забоях со смещением циклов работ. Оконтуривание и нарезка зарубных щелей в одном забое и выполнение цикла гидроотбойки в другом забое осуществляются одновременно, сменяя друг друга. При этом достигается увеличение коэффициента использования насосного оборудования и темпов ведения проходческих работ.

Разновидностью рассмотренной технологической схемы является использование одного насоса для запитки как ручного режущего инструмента, так и гидромонитора ближнего боя. Реализация этой технологической схемы возможна, например, при использовании насоса УВД 6/630. Гидравлические параметры этого насоса позволяют нарезать достаточно глубокие щели с применением одновременно двух ручных инструментов и использовать эффект гидроотбойки при подаче всего расхода воды на гидромонитор ближнего боя.

Выполненный в настоящей статье анализ процесса гидравлического разрушения угольного массива тонкими струями высокого давления позволяет сделать заключение об эффективности новой гидроструйной технологии проведения подготовительных выработок по углю с использованием струй высокого давления и обосновать перспективные направления повышения эффективности указанной технологии с применением отечественного насосного оборудования.

Список литературы

1. Никонов Г. П., Кузьмич И. А., Гольдин Ю. А. Разрушение горных пород струями воды высокого давления. М.: Недра, 1986. 144 с.
2. Мерзляков В. Г., Бафталовский В. Е. Физико-технические основы гидроструйных технологий в горном производстве. М.: ННЦ ГП — ИГД им. А. А. Скочинского, 2004. 645 с.

Conducting of Preparatory Excavations on Hydromines with the Use of Thin Jets of High Pressure

Reviewed the advantages and disadvantages of traditional technology of hydraulic mining using the experience of its operation in mines UK "Prokopenvskugol". The analysis and grounded perspective directions of the efficiency of the new technology for development workings of coal with the use of thin jets of high pressure.

Keywords: hydraulic technology of coal production, carrying out of preparatory excavations, the destruction of coal thin jets of high pressure

References

1. Nikonov G. P., Kuz'mich I. A., Gol'din Ju. A. *Razrushenie gornyh porod strujami vody vysokogo davlenija*. M.: Nedra, 1986. 144 p.

2. Merzlyakov V. G., Baftalovskij V. E. *Fiziko-tehnicheskie osnovy gidro-strujnyh tehnologij v gornom proizvodstve*. M.: NNC GP — IGD im. A. A. Skochinskogo, 2004. 645 p.

УДК 622.254.5

А. Б. Жабин, д-р техн. наук, проф., А. Д. Фомичев, асп., ТулГУ, г. Тула

E-mail: zhabin.tula@mail.ru

Определение показателей работы шнеко-фрезерного исполнительного органа стволопроходческого агрегата АСП-8,0 при погружном режиме работы

Основная цель данной статьи заключается в установлении новых зависимостей, учитывающих погружной режим работы шнеко-фрезерного исполнительного органа на примере стволопроходческого агрегата АСП-8,0. Описана методика проведения экспериментальных исследований агрегата АСП-8,0 при его работе в стволе Ново-Усольского месторождения Пермского края. Проведено сравнение существующих методик расчета с экспериментальными данными, полученными на основании результатов исследования агрегата. Рассмотрены особенности погружного режима работы и вертикальной ориентации шнеко-фрезерного исполнительного органа, используемого в агрегате. Уточнена величина коэффициента, учитывающего часть траектории движения резцов, находящихся в контакте с породой, влияющего в свою очередь, на потребное значение крутящего момента, направленного на резание горной породы. Выполнено уточнение коэффициента, учитывающего влияние углов, под которыми действуют силы подачи отдельных резцов, контактирующих с породой, на усилие подачи исполнительного органа в целом. Представлена новая зависимость, учитывающая дополнительные затраты мощности на вертикальное перемещение горной породы. Дополнительно уточнены величины зависимостей, учитывающих техническую и эксплуатационную производительность для агрегатов семейства АСП. На основе проведенного исследования зависимости, полученные в данной статье, могут быть рекомендованы для расчетов стволопроходческих агрегатов семейства АСП, а также других агрегатов, исполнительные органы которых работают в погружном режиме.

Ключевые слова: агрегат стволопроходческий, неотгруженная горная порода, погружной режим работы исполнительного органа, вертикальная ориентация шнеко-фрезерного исполнительного органа, крутящий момент, усилие подачи, активная дуга контакта исполнительного органа с забоем, вертикальное перемещение горной породы, техническая производительность, эксплуатационная производительность

АСП-8,0 — российский стволопроходческий агрегат, разработанный и выпущенный на Скуратовском опытно-экспериментальном заводе по заказу Объединенной горно-строительной компа-

нией. Назначение, область применения, техническая характеристика, конструкция и принцип работы агрегата описаны в номерах № 1 и 3 журнала за 2014 г. [1, 2].

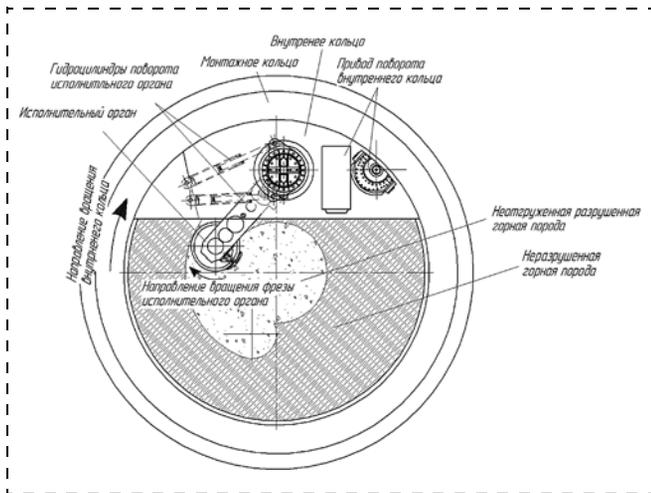


Рис. 1. Схема разрушения забоя агрегатом АСП

Во время эксплуатации агрегата в Ново-Усольском месторождении Пермского края на глубине 398 м были проведены экспериментальные исследования по определению показателей работы исполнительного органа при разрушении каменной соли. Полученные экспериментальные данные сравнивались с результатами расчетов, выполненными на основе существующих методик [3, 4]. Подробное описание и результаты проводимых исследований опубликованы в № 7 журнала за 2014 г. [5].

Особенностью работы шнековой фрезы агрегата АСП-8,0 является ее вертикальная ориентация, при которой разрушенная порода непрерывно находится с ней в контакте (рис. 1), обуславливая при этом так называемый "погружной" режим ее работы. Описание погружного режима работы шнеко-фрезерного исполнительного органа приведено в [5]. Подобная схема разрушения требует уточнения существующих методик расчета в части учета погружного режима работы исполнительного органа.

Погружной режим работы и вертикальная ориентация шнеко-фрезерного исполнительного органа требуют следующих уточнений относительно существующих методик расчета:

- потребного крутящего момента на резание;
- усилия подачи на исполнительном органе;
- мощности на вертикальное перемещение горной породы.

Потребное значение крутящего момента, $N \cdot m$, характеризуется уточнением коэффициентов, входящих в зависимость [4]:

$$M_{кр} = P_{зср} m n_{л} \frac{D_{ср}}{2} K_{тр} K_{ос} K_{вв}, \quad (1)$$

где $P_{зср}$ — среднее усилие резания на одном резце; m — число резцов в линии резания; $n_{л}$ — общее число линий резания на исполнительном органе по траекториям резцов; $K_{ос}$ — коэффициент, учитывающий ослабление забоя при наличии второй обнаженной поверхности; $K_{вв}$ — коэффициент взаимного влияния инструмента при работе исполнительного органа.

Входящий в данную зависимость коэффициент $K_{тр}$ учитывает, какую часть траектории движения резцы находятся в контакте с породой и определяется по формуле

$$K_{тр} = \frac{\varphi}{2\pi},$$

где φ — активная дуга контакта исполнительного органа с забоем, рад.

На рис. 2 показаны отличия непогружного и погружного режимов работы исполнительного органа, заключающиеся в отсутствии контакта разрушенной породы с фрезой при непогружном режиме ее работы и наличии такого контакта при погружном.

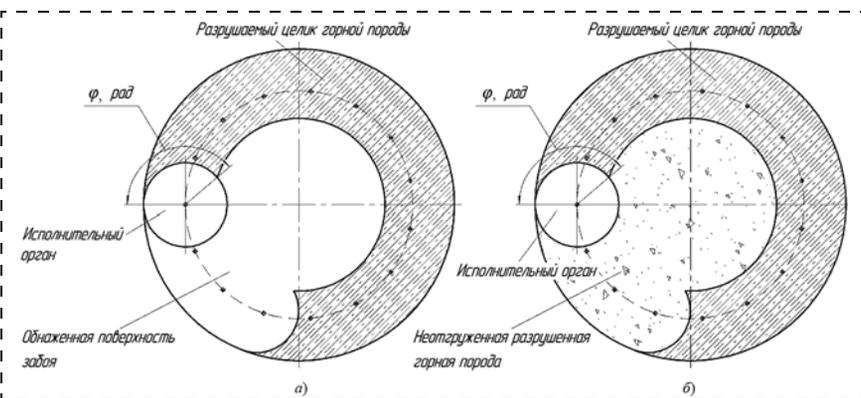


Рис. 2. Влияние углового коэффициента $K_{тр}$ на крутящий момент исполнительного органа: а — непогружной режим работы; б — погружной режим работы; φ — дуга контакта с забоем проекции исполнительного органа

Поэтому погружной режим работы шнековой фрезы характеризуется дополнительными затратами энергии на преодоление силы трения резцов о разрушенную горную породу и повторное вовлечение ее в зону разрушения, которое сопровождается последующим переизмельчением и перемешиванием породы (см. рис. 2). Следовательно, коэффициент $K_{тр}$, входящий в формулу (1), не учитывает этих энергозатрат, а учитывает только траекторию движения резцов, находящихся в контакте с забоем.

Поскольку коэффициент $K_{\text{тр}}$ характеризует собой изменение энергетических затрат на разрушение породы в зависимости от активной дуги контакта исполнительного органа с породой, удобно исследовать изменение удельной энергоёмкости процесса разрушения горной породы H_w от этого коэффициента $\Delta H_w = f(K_{\text{тр}})$ (рис. 3). Был выполнен расчет энергоёмкости разрушения по методике [4], который сравнивался с экспериментальными значениями энергоёмкости при различных углах φ . Выбор углов φ в методике расчета осуществлялся в соответствии с углами контакта шнековой фрезы агрегата во время разрушения забоя исходя из допустимой нагруженности гидроцилиндров подачи исполнительного органа: 180; 140; 121 и 95°.

Энергоёмкость процесса разрушения вычислялась по формуле

$$H_w = \frac{N}{Q_{\text{от}}},$$

где N — мощность, затрачиваемая на разрушение при заданной прочности горных пород, производительности и конструкции исполнительного органа, кВт; $Q_{\text{от}}$ — производительность по отбойке, м³/мин.

В результате проведения исследований был введен новый коэффициент $K_{\text{тр.п}}$, который рекомендуется определять по следующей зависимости

$$K_{\text{тр.п}} = 0,618 K_{\text{тр}}^{0,318}.$$

Так как фактически обнаженная поверхность при погружном режиме работы отсутствует в том

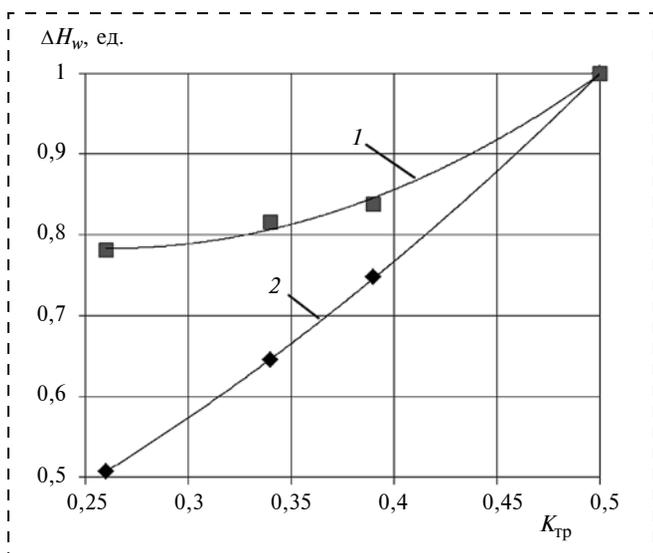


Рис. 3. Зависимость изменения энергоёмкости ΔH_w от коэффициента $K_{\text{тр}}$: 1 — экспериментальная; 2 — теоретическая

виде, в котором она описывается в методике [4], целесообразно принять коэффициент $K_{\text{ос}}$, входящий в выражение (1), равным единице, а ослабление забоя учитывать в нашем случае коэффициентом $K_{\text{тр}}$.

Потребное для реализации крутящего момента значение усилия подачи на исполнительном органе вычисляется по зависимости [4]

$$P_y = P_{\text{уср}} m n K_{\text{тр}} K_{\text{ос}}, \quad (2)$$

где $P_{\text{уср}}$ — усилие подачи на одном резце.

Входящий в данную зависимость коэффициент $K_{\text{тр}}$ зависит от углов, под которыми действуют силы подачи на отдельных резцах, контактирующих с породой, и вычисляется по зависимости [4]

$$K_{\text{тр}} = \frac{1}{4} \left(\frac{\varphi}{2} + \sin 2\varphi \right).$$

Аналогично коэффициенту $K_{\text{тр}}$ коэффициент $K_{\text{тр.п}}$ не учитывает дополнительное сопротивление усилия подачи со стороны неотгруженной разрушенной горной породы на исполнительный орган (см. рис. 2).

Поскольку коэффициент $K_{\text{тр}}$ характеризует собой изменение общего усилия подачи исполнительного органа в зависимости от активной дуги контакта исполнительного органа с породой φ , удобно исследовать изменение общего усилия подачи P_y от данного коэффициента $\Delta P_y = f(K_{\text{тр}})$ (рис. 4).

Для этого был выполнен расчет усилия подачи по методике [4], который сравнивался с экспериментальными значениями усилия подачи при тех же самых углах φ .

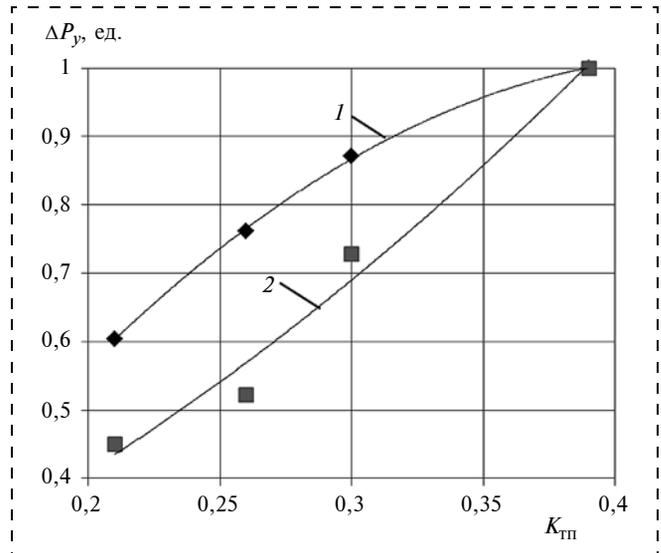


Рис. 4. Зависимость изменения усилия подачи ΔP_y от коэффициента $K_{\text{тр}}$: 1 — экспериментальная; 2 — теоретическая

В результате получен новый коэффициент $K_{тп.п}$, который определяется по формуле

$$K_{тп.п} = 2,33 K_{тп}^{1,57}.$$

Ориентация шнековой фрезы в пространстве обуславливает дополнительные затраты мощности на вертикальное перемещение, перемешивание горной породы (рис. 5). Таким образом, суммарную мощность работы исполнительного органа комбайна, кВт, можно представить в виде следующей зависимости

$$N = N_p + N_{п}, \quad (3)$$

где N_p — мощность, затрачиваемая на резание; $N_{п}$ — мощность, затрачиваемая на переизмельчение, перемешивание и вертикальное перемещение горной породы по шнековой фрезе.

Мощность N_p рассчитывается по формуле [4]

$$N_p = \frac{M_{кр} n}{9550 \eta},$$

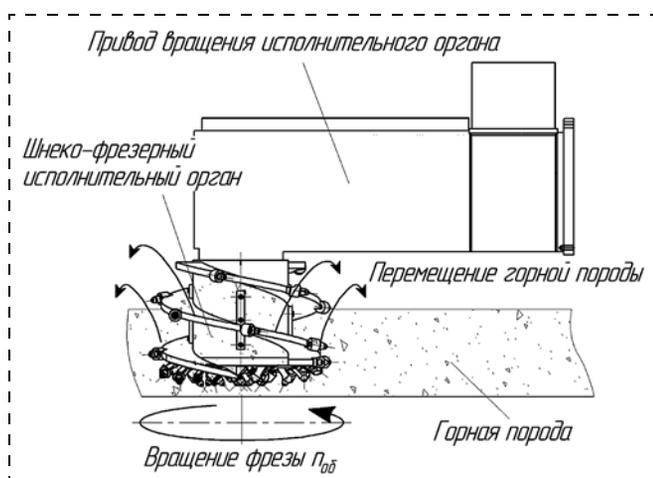


Рис. 5. Перемещение горной породы при вертикальной ориентации шнеко-фрезерного исполнительного органа

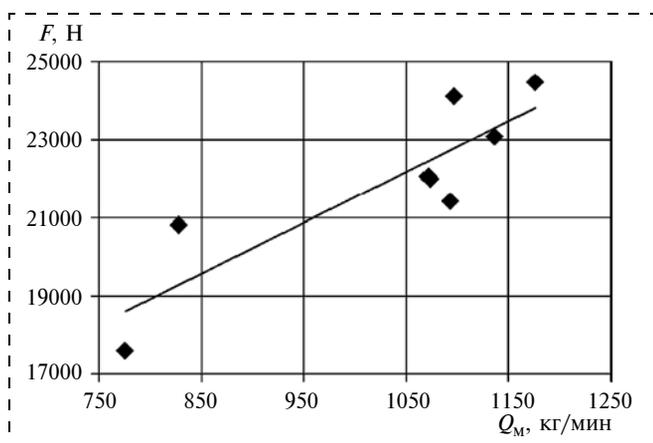


Рис. 6. Зависимость силы F от производительности Q_M

где n — частота вращения исполнительного органа, мин^{-1} ; η — КПД привода вращения фрезы.

Для определения $N_{п}$ выполним расчет затрачиваемой мощности от заданной производительности в соответствии с методикой [4], в которую входят полученные нами коэффициенты, учитывающие погружной режим работы исполнительного органа $K_{тп.п}$ и $K_{тр.п}$. Затем сравним эту мощность с мощностью, полученной экспериментально. Разность между экспериментальными и расчетными значениями мощности определяет мощность на переизмельчение, перемешивание и вертикальное перемещение горной породы $N_{п}$:

$$N_{п} = N_{экс} - N_p,$$

где $N_{экс}$ — мощность, полученная экспериментальным путем.

Для обоснования полученных значений $N_{п}$ воспользуемся известной формулой для определения мощности вращательного движения исполнительного органа, кВт:

$$N_{п} = \frac{F0,5D_{ср}n}{9550},$$

где F — сила сопротивления перемещения материала по шнеку исполнительного органа, Н.

В данном случае силу F удобно выразить в зависимости от скорости подачи или производительности комбайна Q_M , рассчитанную через массу породы в единицу времени $F = f(Q_M)$ (рис. 6).

Массовая производительность, кг/мин, рассчитывается по выражению

$$Q_M = Q_{от} \rho,$$

где ρ — плотность породы, $\text{кг}/\text{м}^3$.

В результате проведенных исследований получена зависимость для определения силы F :

$$F = 8513 + 13,003Q_M.$$

Для проверки полученных результатов сопоставим значения мощности, полученные экспериментально, с ее расчетными значениями по формуле (3) с применением уточняющих коэффициентов $K_{тп.п}$ и $K_{тр.п}$. На основании результатов сопоставления данных был получен коэффициент корреляции, равный 0,92. Коэффициент вариации опытных данных относительно расчетных составил 3%, что указывает на удовлетворительную их сходимость и позволяет рекомендовать полученные формулы для расчета затрачиваемой мощности агрегатов, работающих в погружном режиме с вертикальной ориентацией шнеко-фрезерного исполнительного органа.

Дополнительно проведем уточнение зависимостей для определения технической и эксплуатационной производительности, некоторые результаты по определению которых приведены в [5].

В техническую производительность входят простои в работе, обусловленные особенностью конструкции и технологии проходки ствола данным агрегатом. Техническая производительность, т/ч, находится по формуле [6]

$$Q_{\text{тех}} = 6 \cdot 10^5 r_{\text{тех}} \rho Q_{\text{теор}}, \quad (4)$$

где $r_{\text{тех}}$ — коэффициент технически возможной непрерывной работы агрегата.

Для определения коэффициента $r_{\text{тех}}$ был выполнен хронометраж событий во время эксплуатации АСП за несколько дней работы, в который были включены различные технологические операции, необходимые для проходки забоя. Данные по хронометражу приведены ниже.

Технологические операции, определяющие техническую производительность агрегата, выполняемые за один цикл его работы, на основе хронометража событий

	Время на выполнение операции, мин
Разработка забоя	205
Вертикальные зарубки	15
Горизонтальные зарубки	14
Работа гидроцилиндров вертикального перемещения и распора	30
Монтаж тубинговой обделки	136
Дополнительные операции по переналадке элементов агрегата	10
Обслуживание и ремонт агрегата	—

В результате получена уточненная зависимость для определения коэффициента $r_{\text{тех}}$, имеющая вид:

$$r_{\text{тех}} = K_p \frac{V_{\text{цикл}}}{(T_{\text{п.к}} + T_{\text{теор}}) Q_{\text{теор}}},$$

где $V_{\text{цикл}}$ — объем породы, разрабатываемый агрегатом за один цикл работы, м³; K_p — коэффициент режима работы агрегата (при ручном режиме работы принимается равным 0,82; при автоматизированном управлении — 1); $T_{\text{п.к}}$ — время, затрачиваемое на выполнение операций, проводимых при работе агрегата, обусловленных его конструктивными особенностями, мин; $T_{\text{теор}}$ — время, затрачиваемое на проходку объема породы, соответствующего одному циклу работы с теоретической производительностью, мин.

Время, $T_{\text{п.к}}$, рассчитывается по формуле

$$T_{\text{п.к}} = t_{\text{верт.зар}} + t_{\text{гор.зар}} + t_{\Gamma} + t_{\text{тюб}} + t_{\text{доп}} + t_{\text{обсл}},$$

где $t_{\text{верт.зар}}$ — время на выполнение операций по вертикальной зарубке, мин; $t_{\text{гор.зар}}$ — время на выполнение операции по горизонтальной зарубке, мин; t_{Γ} — время работы гидроцилиндров вертикального перемещения и распора, мин; $t_{\text{тюб}}$ — время на операции по монтажу тубинговой обделки, мин; $t_{\text{доп}}$ — дополнительные операции по переналадке элементов агрегата; $t_{\text{обсл}}$ — время на выполнение работ, направленных на обслуживание и ремонт агрегата, мин.

Время $T_{\text{теор}}$:

$$T_{\text{теор}} = V_{\text{цикл}} / Q_{\text{теор}}.$$

Эксплуатационная производительность помимо перечисленных выше факторов учитывает и простои в работе по организационно-техническим причинам, не зависящим от конструктивных особенностей агрегата.

Эксплуатационная производительность, т/ч, определяется по формуле [6]

$$Q_{\text{тех}} = 6 \cdot 10^5 r_{\text{экспл}} \rho Q_{\text{теор}}, \quad (5)$$

где $r_{\text{экспл}}$ — коэффициент непрерывности работы, учитывающий все виды простоев агрегата и определяемый по уточненной зависимости, полученной на основе хронометража событий (см. ниже).

Технологические операции, определяющие эксплуатационную производительность агрегата, выполняемые за один цикл его работы, на основе хронометража событий

	Время на выполнение операции, мин
Выемка неоттрусенной породы, осуществляемая после разработки забоя агрегатом.	536
Доставка вспомогательного оборудования, необходимого для проходки и монтажа тубинговой обделки	60
Бетонирование затубингового пространства.	300

$$r_{\text{тех}} = K_p \frac{V_{\text{цикл}}}{(T_{\text{п.к}} + T_{\text{п.о}} + T_{\text{теор}}) Q_{\text{теор}}},$$

где $T_{\text{п.о}}$ — время на простои агрегата, не зависящие от его конструкции, мин.

Время $T_{\text{п.о}}$:

$$T_{\text{п.о}} = t_{\text{отг}} + t_{\text{дост.об}} + t_{\text{бет}},$$

где $t_{\text{отг}}$ — время на отгрузку разрушенной горной породы, после того как агрегат закончил разработку забоя в текущем цикле работы, мин; $t_{\text{дост.об}}$ — время на доставку вспомогательного оборудования, необходимого для проходки монтажа тубинговой обделки, мин; $t_{\text{бет}}$ — время на операцию бетонирования одного кольца из тубингов, мин.

Время $t_{\text{бет}}$ находится по формуле

$$t_{\text{бет}} = t_{\text{общ.бет}} / n_{\text{цикл}},$$

где $t_{\text{общ.бет}}$ — общее время, затрачиваемое на бетонирование, мин; $n_{\text{цикл}}$ — число циклов, через которые совершается бетонирование.

В результате проведенных исследований агрегата АСП-8,0 в реальных условиях его эксплуатации получены уточненные зависимости по определению нагруженности шнеко-фрезерных исполнительных органов с вертикальной ориентацией, работающих в погружном режиме, а также технической и эксплуатационной производительности для стволопроходческих агрегатов семейства АСП.

Список литературы

1. **Жабин А. Б., Фомичев А. Д.** Стволопроходческий агрегат АСП-8,0 // Горное оборудование и электромеханика. 2014. № 1. С. 3—5.

2. **Жабин А. Б., Поляков Ан. В., Фомичев А. Д.** Расчет шнеко-фрезерного исполнительного органа стволопроходческого агрегата АСП-8,0 // Горное оборудование и электромеханика. 2014. № 3. С. 3—8.

3. **ОСТ 12.44.197—81.** Комбайны проходческие со стреловидным исполнительным органом. Расчет эксплуатационной нагруженности трансмиссии исполнительного органа. Методика.

4. **РД 1321—77.** Комбайны проходческие избирательного действия. Расчет исполнительных органов. Методика.

5. **Жабин А. Б., Фомичев А. Д.** Некоторые результаты исследований при эксплуатации стволопроходческого агрегата АСП-8,0 // Горное оборудование и электромеханика. 2014. № 7. С. 3—8.

6. **Малевич Н. А.** Машины и комплексы оборудования для проходки вертикальных стволов. М.: Недра, 1975. 339 с.

A. B. Zhabin, Professor, **A. D. Fomichev**, Graduate Student, Tula State University

E-mail: zhabin.tula@mail.ru

Defining Performance of Auger-Milling Executive Shaft Sinking Assembly АСП-8,0 for Immersion Work Mode

The main purpose of this article is to establish new dependencies taking into account immersion work mode of auger-milling executive body on example of shaft sinking assembly unit АСП-8,0. Description of the methodology of experimental research unit АСП-8,0 for his work in the trunk of the New Usolsk deposit, Perm region is achieved. A comparison of existing methods of calculation with experimental data obtained on the basis of the research results of the unit is done. The features of the immersion work mode and vertical orientation auger-milling executive body used in the unit are dealt with. Coefficient refinement that takes into account part of the path of movement of incisors in contact with the rock, which, in turn, influences the need for torque aimed at cutting rock is achieved. Coefficient factor refinement that takes into account the influence of the angles at which forces act on the filing of individual incisors in contact with the breed, on feed forcing the executive body as a whole is achieved. New relationship taking into account the additional cost of power to the vertical movement of rock is given. Further are refined dependencies values taking into account the technical and operational performance for family units TSA. Based on the research, curves obtained in this article can be recommended for the calculation of shaft sinking assembly TSA family, as well as other units, which executive bodies operate in the immersion work mode.

Keywords: shaft sinking assembly, unloaded rock, immersion work mode executive body, vertical auger-milling executive body, torque, feed forcing, active arc of contact of the executive body with the slaughter, vertical movement of the rock, technical productivity, operational productivity

References

1. **Zhabin A. B., Fomichev A. D.** Shaft sinking assembly ASP-8,0. *Mountain equipment and electromechanics*. 2014. N. 1. P. 3—5.

2. **Zhabin A. B., Poljakov An. V., Fomichev A. D.** Auger-milling actuator of shaft sinking assembly ASP-8,0 computing. *Mountain equipment and electromechanics*. 2014. N. 3. P. 3—5.

3. **OST 12.44.197—81.** Combines tunneling swept executive body. Calculation of operational loading of the transmission of the executive body. Methods.

4. **RD 1321—77.** Combines tunneling selective action. Calculation of the executive. Methods.

5. **Zhabin A. B., Fomichev A. D.** Some research results in the operation shaft sinking assembly ASP-8,0. *Mountain equipment and electromechanics*. 2014. N. 7. P. 3—8.

6. **Malevich N. A.** *Machinery and equipment systems for sinking shafts*. M.: Nedra, 1975. 339 p.

УДК 622.23.051

Н. Н. Страбыкин, д-р техн. наук, проф., НИИрГТУ, г. Иркутск

E-mail: nostrab@mail.ru

Оптимизация процесса бурения взрывных скважин в многолетнемерзлых сложноструктурных массивах карьеров Севера РФ

Рассмотрены способы оптимизации бурения взрывных скважин в условиях карьеров Севера РФ, разрабатывающих многолетнемерзлые массивы путем установления рациональных конструктивных и режимных параметров отработки породоразрушающих инструментов и систем очистки скважин от буровой мелочи.

Ключевые слова: бурение взрывных скважин, мерзлые сложноструктурные массивы, породоразрушающий инструмент, очистка скважин, оптимизация бурения

Особенности бурения взрывных скважин в мерзлых массивах карьеров Севера

Большая часть рудных, россыпных и пластовых месторождений полезных ископаемых России расположена в Сибири, Якутии и северо-востоке страны. Значительная доля их разрабатывается открытым способом, осуществляя добычу благородных и цветных металлов, угля, алмазов и других ископаемых.

Вскрышные массивы карьеров сложены сезонно и многолетнемерзлыми породами, имеющими сложноструктурное строение с чередованием пород различных физико-механических свойств. Основная масса отложений состоит из глинистых, песчано-глинистых сланцев и песчаников различной зернистости на глинистом и известковом цементах, аргиллитов и алевролитов. Гравийно-галечный материал цементируется илисто-глинистыми и песчано-глинистыми отложениями, а также плотной вязкой глиной. На ряде месторождений в толще вскрышных массивов встречается островная мерзлота, занимающая значительный объем разрабатываемых пород.

Сложное литологическое строение мерзлых массивов с изменением физико-механических, мерзлотных, гидрологических свойств горных пород и криогенной структуры массивов, слагающих уступы, обуславливает необходимость выполнения специальных требований, предъявляемых к исполнительным органам буровых станков и параметрам режима их работы. Процесс бурения сква-

жины состоит из операций разрушения породы на забое и очистки призабойной зоны и затрубного пространства от буровой мелочи.

Прочность мерзлой породы возрастает с увеличением ее влажности (льдиистости), что объясняется ростом прочности кристаллической решетки льда с понижением температуры. Существенным образом на свойства мерзлых горных пород влияют продолжительность и скорость приложения нагрузки при бурении. С ростом скорости приложения нагрузки сопротивляемость разрушению увеличивается. Вместе с тем неоднородность материала мерзлого сложноструктурного породного массива, наличие прожилок и прослоек льда создают условия для разрушения породы на забое скважины крупным сколом по цементирующим связям и льдистым прослойкам между твердыми минеральными частицами. Наличие прослоек, обладающих меньшей прочностью, требует значительно меньших энергозатрат. В гравийно-галечных отложениях разрушение забоя, как правило, также осуществляется по льдистым прожилкам за счет отделения от массива гальки и гравия.

Соответствие параметров и механизма воздействия рабочих элементов исполнительных органов буровых станков условиям их эксплуатации

Механизм воздействия породоразрушающего органа на забой должен соответствовать особенностям физико-механических свойств пород гор-

ного массива и, в первую очередь, сопротивляемости породы сжатию и скалыванию.

Наименьшее сопротивление разрушению возникает в процессе скалывания породы на забое скважины передней кромкой режущего инструмента при вращательном бурении. Наиболее рациональным диапазоном использования вращательного бурения режущим инструментом являются мерзлые массивы, сложенные породами крепостью до $f=7$ по шкале проф. М. М. Протодяконова.

В массивах, сложенных породами средней крепости, эффективное разрушение достигается вращательно-ударным воздействием за счет того, что ударная составляющая обеспечивает лучшее внедрение режущей кромки, а кратковременность ударного воздействия снижает ее износ. В этом случае превалирует разрушение породы скалыванием при повороте лезвия долота. Вращательно-ударное воздействие эффективно при бурении мерзлых сложноструктурных массивов, сложенных породами крепостью $f=7...12$.

Мерзлые сложноструктурные массивы, представленные перемежающимися породами выше средней крепости в диапазоне $f=12...18$, целесообразно разрушать ударно-вращательным воздействием при работе станков пневмоударного бурения. Разрушение породы на забое в этом случае осуществляется, главным образом, за счет ее скалывания и раздавливания под действием ударной нагрузки, создаваемой пневмоударником. Вращение породоразрушающего органа обеспечивает скалывание гребешков рейки, образующейся на забое после обработки забоя ударной нагрузкой.

Наиболее универсальным способом воздействия породоразрушающего органа на забой скважины является взаимодействие зубьев шарошечного долота с породой, обеспечивающее достаточную эффективность разрушения забоя в широком диапазоне крепости породы $f=4...16$. Внедрение зубьев шарошки в поверхность забоя скважины сопровождается скалыванием и раздавливанием породы под действием значительного осевого усилия, создаваемого механизмом подачи бурового станка. Кроме того, под действием крутящего момента, передаваемого буровым ставом шарошечному долоту, зубья шарошек своей набегающей гранью производят дробление и скалывание упруго-хрупких или смятие вязких пород. В последнее время основной объем буровых работ на карьерах России и других стран выполняется станками вращательного бурения, использующих в качестве породоразрушающего инструмента шарошечные долота.

Особенностями горных пород мерзлого массива являются непостоянство температурного режима и переувлажнение пород, что сопровождается изменением их физико-механических свойств и фазного состояния даже при малых колебаниях температуры и возникновением ряда осложнений, связанных с удалением продуктов разрушения из скважины. Причиной таких осложнений являются нарушения нормального температурного режима скважины под влиянием теплоты, выделяемой при разрушении породы на забое и вносимой в скважину продувочным потоком воздуха. Стабилизация температурного режима в процессе бурения скважин позволит предотвратить осложнения, связанные с нарушением очистки скважины от буровой мелочи, и существенно уменьшит потери времени на ликвидацию подобных нарушений процесса бурения, повышая эффективность проходки взрывных скважин.

В последнее время получает распространение оснащение буровых инструментов несколькими породоразрушающими органами, которые могут работать одновременно или последовательно. Последовательное воздействие режущего и шарошечного, режущего и ударного, либо шарошечного и ударного рабочих органов позволяет создать напряженное состояние в породе на забое скважины, что облегчает ее разрушение последующим рабочим органом, интенсифицируя процесс бурения. Одновременное совместное воздействие двух рабочих органов позволяет существенно повысить забойную мощность, увеличить эффективность разрушения породы и делает возможным разрушать более крепкие пропластки и включения, встречающиеся по глубине скважины. Такие буровые инструменты, агрегированные несколькими породоразрушающими рабочими органами, обеспечивают существенное повышение производительности бурового станка и делают его более универсальным [1].

Пути интенсификации бурения взрывных скважин на карьерах Севера

Оптимизация процесса бурения взрывных скважин в мерзлых сложноструктурных массивах карьеров северных регионов РФ может быть достигнута за счет установления влияния конструктивных особенностей породоразрушающего инструмента и параметров режима его отработки, обеспечивающих максимально возможную производительность при минимальных энергозатратах с учетом литологического строения и температурного состояния пород.

Иркутским и Кузбасским государственными техническими университетами разработаны ре-

жущие долота с продувкой скважины сжатым воздухом диаметром 190...320 мм. Режущая кромка этих долот выполнена ступенчатой формы и оснащена сменными резцами [1]. Производственные испытания таких долот, изготовленных на Черемховском рудоремонтном заводе, проведенные на угольных разрезах, золото- и алмазодобывающих карьерах, свидетельствуют о высокой эффективности применения этих долот при бурении взрывных скважин в мерзлых массивах, сложенных породами с коэффициентом крепости не более $f=7$. Разрушение породы осуществлялось сколом крупных фракций со значительно более низкими затратами энергии по сравнению с шарошечными долотами и не вызывало оттаивания продуктов разрушения, что предотвращало нарушения продувки скважины.

ИрГТУ разработано также режущее долото, оснащенное сменными резцами и вихревыми трубками [2, 3]. Сжатый воздух для продувки забоя направляется через вихревые трубки, установленные в корпусе долота, на контакт резцов с забоем, осуществляя охлаждение резцов и предотвращая оттаивание продуктов разрушения породы в призабойной зоне скважины.

Сибирским федеральным университетом предложены и испытаны долота с зубчато-дисковыми шарошками, вращающимися на осях, закрепленных в лапах. Режущая кромка этих долот выполнена зубчатой с армированием пластинами металлокерамического твердого сплава. Вращение зубчато-дисковых шарошек вокруг своих осей позволяет им, перекатываясь вдоль забоя, менять рабочую часть режущей кромки, находящейся в контакте с забоем. Проведенные испытания таких долот диаметром 244,5 мм при бурении скважин по вскрышным уступам сложноструктурного строения с пропластками абразивных песчаников крепостью $f=8...10$ в условиях угольных разрезов Кузбасса и Экибастуза (Казахстан) показали возможность увеличения в 1,5—2 раза производительности и снижения удельных затрат на бурение сложноструктурных вскрышных уступов с включениями 20...30 % абразивных песчаников крепостью $f=8...10$ по сравнению с шарошечными долотами [4]. Применение режущих долот с продувкой скважины, обеспечивающих крупный скол породы лезвием, позволяет существенно повысить производительность буровых станков и снизить энергоемкость разрушения породы на забое скважины.

Институтом "НИИОГР" разработан режущее ударный инструмент РУИ диаметром 160...216 мм, позволяющий осуществлять эффективную проход-

ку взрывных скважин в вскрышных уступах, сложенных мерзлыми породами крепостью $f=7...12$ [1]. Такой инструмент производит скалывание породы ниже средней крепости лезвием вращающегося долота, а в более крепких осуществляет скол и раздавливание породы ударной нагрузкой. Иркутским и Кузбасским государственными техническими университетами создан комбинированный режущее-шарошечный буровой инструмент РШД диаметром 190...320 мм. Он оснащается двумя шарошками, между которыми размещено подпружиненное лезвие. Разрушение породы ниже средней крепости осуществляется скалыванием режущей кромкой лезвия. При встрече более крепких прослоек имеет место совместная обработка забоя скважины, когда основной объем разрушения выполняется зубьями шарошек, а режущим лезвием производится скол гребешков рейки, образуемой после прохода по забоем зубьев шарошек. Наиболее крепкие включения разрушаются исключительно зубьями шарошек [5].

Таким образом, в зависимости от величины сопротивляемости породы разрушению изменяется долевое участие рабочих органов бурового инструмента в обработке ими забоя. В массивах, сложенных породами выше средней крепости $f=12...14$, с включениями весьма крепких пород $f=14...18$, рационально использовать ударно-шарошечный буровой инструмент, обеспечивающий основное разрушение забоя ударным воздействием. Такой вариант комбинированного ударно-шарошечного долота разработан институтами "ВНИИБТ" и "ИГД им. А. А. Скочинского" [1].

Следовательно, применение бурового породоразрушающего инструмента, оснащенного несколькими рабочими органами, обеспечивает его универсальность за счет расширения области эффективного использования и позволяет повысить ресурс. Режущий инструмент с продувкой скважины прошел широкие промышленные испытания, изготавливается Черемховским рудоремонтным заводом и применяется на станках СБШ-250 МНА и ЗСБШ-200Н. Комбинированные долота РШД-215,9, РШД-44,5 и РШД-269,9 прошли межведомственные испытания и рекомендованы к серийному изготовлению [5].

Успешное бурение скважины возможно, когда эффективность удаления буровой мелочи соответствует интенсивности ее образования и учтены особенности физико-механических свойств и температурного состояния массива горных пород. Очистка скважины от продуктов разрушения в процессе бурения взрывных скважин на карьерах

осуществляется вращающимся шнековым буровым ставом или продувкой потоком сжатого воздуха, подаваемого компрессором, установленном на раме станка. Шнековым буровым ставом оснащаются буровые станки, использующие в качестве породоразрушающего органа режущий инструмент. Однако, как указано выше, режущие долота могут быть эффективно использованы при бурении в породах крепостью до $f = 7$. Наличие более крепких пропластков во вскрышном массиве мерзлых пород сопровождается интенсивным износом режущей кромки долот и выходом их из строя. В породах ниже средней крепости станки вращательного типа с режущим инструментом и шнековой очисткой скважины позволяют получить достаточную производительность при относительно невысоких энергозатратах. Проблема возникает при проходке влажных (льדיстых) пород, которые налипают и намерзают на поверхность спирали витка шнека, нарушая продвижение буровой мелочи и выдачу ее из скважины. Выбор оптимального шага шнека позволяет уменьшить налипание и обмерзание спирали шнека, что сокращает затраты времени на его очистку и повышает производительность станка.

Государственным институтом горно-химического сырья и Кузбасским государственным техническим университетом предложена шнеко-воздушная система очистки скважины [1], когда основная часть продуктов разрушения транспортируется спиралью шнека, а очистка призабойного пространства скважины интенсифицируется подачей на забой сжатого воздуха. В этом случае существенно улучшается поступление буровой мелочи на первый виток шнека из призабойного пространства, где отсутствует спираль шнека и движение продуктов разрушения осуществляется их вытеснением при подаче бурового става.

Величина сопротивления буровой мелочи движению породоразрушающего инструмента на забой зависит от интенсивности ее образования и конструктивных параметров долота и буровых штанг. С увеличением интенсивности образования буровой мелочи, длины и толщины корпуса долота растет сопротивление подаче бурового става, а снижение интенсивности образования продуктов разрушения, улучшение обтекаемости корпуса долота и уменьшение его высоты сопровождаются снижением сопротивления. Существенное влияние на величину шага шнека оказывает частота вращения буровых штанг. С ростом частоты вращения шаг увеличивается с убывающей интенсивностью. При изменении частоты от 15 до 300 мин^{-1}

рационально увеличить шаг в 2,3 раза [6]. Целесообразно иметь регулируемую частоту вращения с диапазоном регулирования в зависимости от условий очистки скважины и работы бурового инструмента. Верхний предел частоты вращения ограничивается требованиями к режимам работы инструмента. Реально регулирование частоты вращения осуществляется в пределах 100...300 мин^{-1} . Максимальную частоту вращения рационально использовать, в основном, для очистки скважины без подачи бурового става на забой. Аналитическая зависимость определения мощности, необходимой для привода вращателя бурового станка на преодоление сопротивлений со стороны буровой мелочи, приведена в [6]. Выбор шага шнека следует проводить по основной частоте вращения, причем оптимальный шаг шнека должен обеспечивать максимальную производительность шнекового бурового става. С ростом коэффициента трения спирали шнека о стенки скважины и буровой мелочи о спираль шнека шаг уменьшается. Подбор оптимального шага шнека позволяет уменьшить налипание и обмерзание спирали шнека продуктами разрушения, что сокращает затраты времени на очистку бурового става и обеспечивает рост производительности бурового станка.

Режим удаления буровой мелочи из скважины не нарушается, если фактическая производительность шнека не превышает его возможную производительность. Применительно к параметрам бурового станка СБР-160 скорость бурения ограничивается возможной производительностью шнека при скорости подачи на забой 2 м/мин. В случае большей скорости бурения интенсивность образования буровой мелочи превышает транспортирующую способность шнека, что приводит к нарушению режима очистки скважины. Это ограничивает область применения таких станков в мягких породах.

Очистка скважины продувкой сжатым воздухом осуществляется путем передачи кинетической энергии воздушного потока, подаваемого компрессором, частицам буровой мелочи. Продукты разрушения, находясь в восходящем воздушном потоке, подвергаются воздействию подъемной силы струи воздуха, значение которой зависит от размеров и формы частиц, скорости потока, плотности струи и вязкости воздуха. Переход частиц во взвешенное состояние обеспечивается, когда подъемная сила струи становится равной весу частиц при достижении критической скорости движения воздушного потока. Величина критической скорости, необходимых производительности и рабочего

давления компрессора бурового станка могут быть определены по аналитическим зависимостям [6].

Режим очистки скважины при работе буровых станков с продувкой сжатым воздухом задается основными параметрами пневмотранспортной системы, необходимыми для эффективной очистки забоя от продуктов разрушения. Недостаточное количество воздуха приводит к возникновению условий для нарушения очистки забоя и затрубного пространства скважины и малопроизводительному бурению. Избыток воздуха сопровождается ростом энергоемкости и затрат на буровые работы. Аналитические зависимости определения необходимой производительности компрессора бурового станка для транспортирования буровой мелочи из скважины и мощности привода компрессорной установки приведены в [6]. Ввиду колебания расхода воздуха, потребного для очистки скважины в зависимости от фракционного состава и формы частиц буровой мелочи, плотности и насыщенности влагой буримых пород, экономически целесообразно иметь возможность регулирования выходных параметров компрессорной установки.

Процесс бурения мерзлых пород сопровождается теплообменом между породоразрушающим инструментом, продувочным потоком воздуха, буровой мелочью и стенками скважины. На контакте породоразрушающего инструмента с забоем силой трения создается источник тепла, который совместно с горячим потоком продувочного воздуха оказывает существенное влияние на температуру продуктов разрушения и стенки скважины. Это явление часто сопровождается оттаиванием частиц разрушенной породы и образованием сальников, нарушающих режим продувки скважины, так как затрудняет очистку скважины.

Нормализация температуры в призабойной зоне может быть достигнута, когда температура частиц буровой мелочи и долота не превышает $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Такое условие может быть выполнено подачей на забой продувочного воздуха, имеющего отрицательную температуру. Значение отрицательной температуры потока продувочного воздуха в призабойной зоне скважины для нейтрализации теплоты, образующейся на рабочих элементах долота, определяется зависимостью [6].

Проведенные исследования бурения скважин в условиях многолетнемерзлых пород свидетельствуют о том, что при температуре воздуха $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ осложнений в процессе бурения не наблюдалось, так как температура продуктов разрушения остается близкой к агрегатному состоянию, следовательно, нормализация температурного режима

продуктов разрушения возможна при положительной температуре долота. Осложнения вследствие оттаивания продуктов разрушения обычно связаны с прохождением частицами призабойной зоны скважины.

Получены зависимости для определения необходимой температуры воздуха, подаваемого в скважину, при котором предотвращается оттаивание буровой мелочи, инициирующее образование нарушений очистки забоя и призабойной зоны скважины. Так, оттаивание частиц буровой мелочи при разрушении забоя шарошечным 244,5 Т-ПВ и режущим ЗРД-244,5 долотами не будет происходить при температуре воздушного продувочного потока $+7\text{ }^{\circ}\text{C}$ в случае крупности частиц пластинчатой формы и толщине пластин 1 мм, а при крупности пластин толщиной 3 мм при температуре $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$ температура наружного воздуха $-10...14\text{ }^{\circ}\text{C}$. В более холодный период года температура воздушного потока на выходе из долота составляет $+8...10\text{ }^{\circ}\text{C}$, а температура воздуха в призабойной зоне — $+12...14\text{ }^{\circ}\text{C}$. При такой температуре и использовании шарошечных долот оттайке подвергаются наиболее мелкие частицы буровой мелочи, а при использовании режущих долот оттайка не происходит ввиду разрушения забоя крупным сколом или отделением гравийно-галечного материала без его разрушения с меньшим тепловыделением. Во избежание оттаивания мелких фракций продуктов разрушения необходимо поддерживать температуру в призабойной зоне скважины $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$, для чего осуществляется охлаждение потока воздуха, поступающего на продувку.

Технические и технологические решения оптимизации бурения взрывных скважин на карьерах Севера

ИрГТУ предложены технические решения по охлаждению продувочного потока, позволяющие стабилизировать температурный режим призабойной зоны в целях избегания нарушений очистки скважины [7]. Если температура продувочного воздуха ниже температуры мерзлых пород, то свободная влага поглощается потоком воздуха и стенки скважины осушаются, обеспечивая их дополнительное упрочнение. Охлажденный продувочный воздух предотвращает оттаивание и слипание продуктов разрушения. Установки для охлаждения продувочного воздуха и долота, оснащенные вихревыми трубками в системе продувки скважины, могут быть использованы также в случае шнековоздушной очистки скважин от буровой мелочи. Необходимая производительность компрессора

в случае такого способа очистки значительно меньше, чем при очистке скважины продувкой. Оптимальная нагрузка привода компрессора может быть достигнута в случае возможности регулирования расхода воздуха, подаваемого для очистки скважины в зависимости от эффективности разрушения породы на забое, характеризующейся крупностью буровой мелочи.

Таким образом, применение рациональных типов породоразрушающих инструментов, обеспечивающих меньшую энергоемкость процесса бурения, и использование оптимальных режимов их обработки и установок охлаждения потока продувочного воздуха позволяют оптимизировать процесс бурения в условиях мерзлых перемежающихся массивов вскрышных уступов северных регионов РФ.

Наиболее приемлем при бурении по глинодержащим породам режущий и агрегированный (режуще-шарошечный, режуще-ударный, либо режуще-шарошечный с созданием импульсных нагрузок на режущем породоразрушающем органе) буровой инструмент. Породоразрушающий орган режущего долота, внедряясь в породу под действием статической или динамической нагрузки, срезает стружку на забое, производя эффект скола. В этом случае значительно увеличивается крупность буровой мелочи, уменьшается оттаивание частиц и заметно сокращаются случаи нарушения режима очистки скважины, так как крупные частицы буровой мелочи выносятся из скважины, не успевая оттаивать.

Когда использование режущего инструмента осложняется наличием пропластков пород крепостью $f = 10 \dots 12$, становится рациональным переход на использование агрегированного бурового инструмента. Режуще-шарошечное или режуще-ударное долото обеспечивает эффективное разрушение более крепких пропластков или включений путем воздействия на забой зубьями шарошек или лезвием при создании на него ударных нагрузок, что позволяет существенно увеличить глубину внедрения лезвия в более прочную среду, снизить износ режущей кромки лезвия, обеспечивая разрушение забоя крупным сколом с более высокой скоростью проходки. Параметры режима бурения (усилие подачи инструмента на забой, частота вращения бурового става и расход воздуха на продувку скважины) должны регулироваться в рабочем диапазоне в зависимости от физико-механических свойств горных пород, слагающих массив, строения, влажности (льдистости) и их температурного режима.

В целях повышения эффективности разрушения породы на забое скважины разработана сис-

тема интенсификации бурения взрывных скважин в условиях сложноструктурного строения массива горных пород агрегированным буровым инструментом. Такой буровой инструмент оснащается двумя шарошками, лопастью, лезвие которой армировано металлокерамическим твердым сплавом, и пневмоударником с бойком и возвратной пружиной [5]. При встрече более крепкой прослойки по глубине скважины частота вращения бурового става уменьшается и производится включение ударника, который обеспечивает внедрение лезвия лопасти и скол породы при повороте инструмента.

Частота ударных нагрузок определяется как обратная величина частоты вращения двигателя вращателя бурового става. При этом предусмотрено управление подачей сжатого воздуха в скважину в целях оптимизации производительности компрессорной установки путем согласования обратной зависимости между крепостью пород и частотой пневматического ударного механизма агрегированного бурового инструмента [8]. Для косвенного, но достаточно точного определения крепости буримых пород используется частота вращения двигателя вращателя, снабженного системой "генератор—двигатель постоянного тока", которая измеряется с помощью тахогенератора. В целях управления подачей сжатого воздуха в скважину компрессор соединяется с буровым ставом не непосредственно, а через ресивер и запорно-регулирующий клапан. На первый вход преобразователя "напряжение—частота" подается сигнал с тахогенератора, а на второй — опорное напряжение с задатчика, пропорциональное средней крепости породы в скважине. Если крепость вмещающих пород в скважине составляет среднее значение и скорость бурения, а следовательно, и частота вращателя соответствует техническим требованиям, то частота включения запорно-регулирующего клапана такова, что процесс бурения проходит в оптимальном режиме. В случае встречи агрегированным буровым инструментом более крепких прослоек электропривод вращателя уменьшает свою частоту вращения, которая с помощью тахогенератора подается в виде напряжения на первый вход преобразователя "напряжение—частота", где происходит сравнение его с опорным напряжением на втором входе и по их разности преобразователь выдает сигнал на запорно-регулирующий клапан. Чем больше отклонение уровней сигналов на входах преобразователя, тем выше частота сигналов на его выходе. Следовательно, запорно-регулирующий клапан подключает с большей частотой буровой став к ресиверу, давление в котором поддержи-

Бури- мость мерзлых сложност- руктурных массивов	Литологическое строение мерзлых сложноструктурных массивов	Структура залегания пород в массиве	Крепость пород по шкале проф. М. М. Протодакнова	Временное сопротивление одностороннему сжатию, МПа	Содержание гравийно-галечных включений, %	Влажность, %	Типы бурового инструмента	Способ очистки скважин от буровой мелочи	Шаг спирали шнека, мм	Количество сжатого воздуха на продувку скважины, м ³ /мин	Усилие подачи на забой скважины, кН	Частота вращения бурового става, мин ⁻¹	Температура продувочного воздуха, поступающего к забою, °С
Легко- буримые	Торф, глинистый сланец, песчаник на глинистом цементе, щебенисто-гра- вийный материал, алевролиты, плит- няк размером до 20 см с прослойками песчаников, мергелей, льда	Слоистые	1...6	1...15	До 5	До 40	Режущие долота вращательного бурения	Шнековый, шнеко- воздушный	100...150	8...10	До 40	120...150	-2...-30
Средне- буримые	Аргилиты, мелкозернистые песчаники на известковом цементе, доломиты, конгломераты осадочных пород на известково-глинистом цементе, слан- цы метаморфизованные, туфы, вывет- релые лимониты с пропластками льда	Слоистые с редкой пережеаемостью слабых пород поро- дами средней кре- пости	6...10	15...45	До 15	35	Режущие долота с продувкой возду- хом и созданием импульсной на- грузки на лезвии	Продувка	—	30...40	40...60	120...130	+1...-30
Трудно- буримые	Алевролиты с включением кварца, доломиты кварцевые, известняки крупнозернистые гнейсы, змеевики, выветрелые гранодиориты	Слоистые с частой пережеаемостью слабых пород по- родами более креп- кими, линзами льда	6...14	50...120	До 25	20	Агрегированные режуще-шаро- шечные с создани- ем импульсной на- грузки на лезвии	Продувка	—	30...40	80...140	100...120	+3...-40
Весьма трудно- буримые	Базальты, пористые мелкозернистые скарны окремленные, песчаник, кремневые плотные, мелко- зернистые габро, граниты	Чаще неоднород- ные высокообра- зные супесчаные ки и суглинистые заполнители	14...20	130...300	До 50	15	Долота ударного типа и ударно- шарошечные долота	Продувка	—	30...40	60...150	90...100	+3...-50

вается на постоянном уровне. Вследствие этого лопасть агрегированного бурового инструмента будет получать увеличенную по частоте ударную нагрузку, что будет сопровождаться разрушением забоя скважины более эффективно.

Значительный резерв повышения эффективности и улучшения показателей буровых работ в условиях сложноструктурных мерзлых массивов состоит в выборе рациональной технологии бурения, т. е. сочетания параметров режима бурения (круглоосевого усилия, частоты вращения, ударных нагрузок и расхода продувочного воздуха), при которых достигаются наилучшие технико-экономические показатели работы бурового станка. Выбор оптимальных режимов бурения необходимо осуществлять в соответствии с учетом физико-механических, гидрологических и температурных особенностей пород вскрышных уступов карьеров Севера.

Обобщение и анализ опытных данных и результатов испытаний различных типов буровых инструментов и режимов их отработки и систем очистки скважин в горно-геологических условиях карьеров северных регионов РФ, разрабатывающих сезонно и многолетнемерзлые массивы сложноструктурного строения с перемежением пород разных физико-механических свойств, позволяют дать рекомендации по оптимизации процесса бурения взрывных скважин в конкретных горно-геологических условиях (см. таблицу).

Таким образом, использование более совершенных породоразрушающих буровых инструментов и систем очистки скважин от буровой мелочи, соответствующих особенностям

строения и температурного состояния мерзлых сложноструктурных массивов, позволяет оптимизировать процесс бурения взрывных скважин на карьерах Севера РФ.

Реализация разработанных технических решений обеспечивает дифференцированное воздействие рабочих элементов породоразрушающих буровых инструментов на забой скважины и повышение эффективности действия систем очистки взрывных скважин с минимумом энергозатрат и максимально возможной производительностью бурового оборудования.

Список литературы

1. **Страбыкин Н. Н.** Техника бурения взрывных скважин в мерзлых породах. М.: Недра, 1989. 172 с.
2. **Страбыкин Н. Н., Коледин Ю. М., Долгун Я. Н.** и др. Перспективы применения режущего инструмента с продувкой при бурении взрывных скважин на карьерах // Горные машины и автоматика. 2005. № 2. С. 25—28.

3. **Пат. СССР 1776285.** Буровое долото / Страбыкин Н. Н., Синицин Г. М.; опубл., Бюл. № 42, 1992.

4. **Гилев А. В.** Перспективы и рациональные режимы применения буровых долот с зубчато-дисковыми шарошками // Горные машины и автоматика. 2005. № 2. С. 29—31.

5. **Страбыкин Н. Н., Черный А. А.** Обоснование и выбор конструктивных параметров и режимов бурения взрывных скважин породоразрушающим органом с устройством для создания ударных импульсов // Горные машины и автоматика. 2005. № 2. С. 22—28.

6. **Страбыкин Н. Н., Горячкин В. М., Шевченко А. Н.** Оценка эффективности шнекового и пневматического способов очистки взрывных скважин на карьерах Севера // Горное оборудование и электромеханика. 2007. № 3. С. 11—17.

7. **Страбыкин Н. Н., Горячкин В. М.** Выбор параметров теплообменников для нормализации температурного режима в скважине при бурении с продувкой // Известия вузов. Горный журнал. 1991. № 11. С. 51—55.

8. **Пат. РФ 2084624.** Способ бурения взрывных скважин и устройство для его осуществления / Страбыкин Н. Н., Огнев Н. Г., Хромов С. Ф. и др.; опубл., Бюл. № 20, 1997.

N. N. Strabykin, Professor, National Research Irkutsk State Technical University

E-mail: nostrab@mail.ru

Process Optimization for Drilling Blastholes through Permafrost Massifs Varied Lithologi in Open Pits in Nortner Russia

Types of optimization for drilling blastholes under arctic condition in open pit are assessed. There pits are used for exploiting permafrost massifs by establishing rational, contractual, and regimented drilling parameters for rock cutting tools and systems for cleaning drillholes of drill cutting.

Keywords: drilling of blastholes, permafrost massifs of varied lithology, open pits, rock cutting tools, cleaning blastholes, drilling optimization

References

1. **Strabykin N. N.** *Tehnika burenija vzryvnyh skvazhin v merzlyh porodah.* M.: Nedra, 1989. 172 p.
2. **Strabykin N. N., Koledin Ju. M., Dolgun Ja. N.** i dr. Perspektivy primenenija rezhushhego instrumenta s produvkoy pri burenii vzryvnyh skvazhin na kar'erah. *Gornye mashiny i avtomatika.* 2005. N. 2. P. 25—28.
3. **Pat. SSSR 1776285.** *Burovoe doloto.* Strabykin N. N., Sinicin G. M.; opubl., Bjul. N. 42, 1992.
4. **Gilev A. V.** Perspektivy i racional'nye rezhimy primenenija burovyyh dolot s zubchato-diskovymi sharoshkami. *Gornye mashiny i avtomatika.* 2005. N. 2. P. 29—31.
5. **Strabykin N. N., Chernyj A. A.** Obosnovanie i vybor konstruktivnyh parametrov i rezhimov burenija vzryvnyh

skvazhin porodorarushajushhim organom s ustrojstvom dlja sozdaniya udarnyh impul'sov. *Gornye mashiny i avtomatika.* 2005. N. 2. P. 22—28.

6. **Strabykin N. N., Gorjachkin V. M., Shevchenko A. N.** Ocenka jeffektivnosti shnekovogo i pnevmaticheskogo sposobov ochistki vzryvnyh skvazhin na kar'erah Severa. *Gornoe oborudovanie i jelektromehaniка.* 2007. N. 3. P. 11—17.

7. **Strabykin N. N., Gorjachkin V. M.** Vybor parametrov teploobmennikov dlja normalizacii temperaturnogo rezhima v skvazhine pri burenii s produvkoy. *Izvestija vuzov. Gornyj zhurnal.* 1991. N. 11. P. 51—55.

8. **Pat. RF 2084624.** *Sposob burenija vzryvnyh skvazhin i ustrojstvo dlja ego osushhestvlenija.* Strabykin N. N., Ognev N. G., Hromov S. F. i dr.; opubl., Bjul. N. 20, 1997.

УДК 622

В. В. Сергеев, д-р техн. наук, проф., **З. М. Кусов**, асп., **Т. Ф. Марзоев**, асп.,
СКГМИ (ГТУ), г. Владикавказ

E-mail: vv_sergeev_47@mail.ru

Классификация способов и средств борьбы с прилипанием и примерзанием полезного ископаемого в процессе погрузки, транспортирования и доставки

При копании, погрузке и транспортировании существует проблема прилипания и примерзания материала к приспособлениям и оборудованию, осуществляющих указанные выше процессы. Несмотря на многообразие способов и конструкций, пока нет однозначного и эффективного решения этой проблемы. Для облегчения изучения существующих и разработки новых способов и средств, проведения анализа и обобщения предложена классификация способов и средств борьбы с прилипанием и примерзанием полезного ископаемого в процессе погрузки, транспортирования и доставки, выявленных по патентным и литературным источникам. При этом рассматриваются способы и средства борьбы с прилипанием и примерзанием горной массы в ковшах экскаваторов и погрузочно-доставочных машин, шахтных вагонетках и железнодорожных вагонах, а также на транспортной ленте ленточных конвейеров, поскольку природа (причина) явления одна и та же. Поэтому воздействие на слой налипшего и примерзшего материала в указанных механизмах принципиально одинаково.

Ключевые слова: ковш экскаватора, ковш погрузочно-доставочной машины, шахтная вагонетка, железнодорожный вагон, думпкар, транспортная лента ленточного конвейера, прилипший и примерзший материал (горная масса)

С момента освоения человечеством приспособлений и оборудования для копания, погрузки, транспортирования и доставки существует проблема борьбы с прилипанием и примерзанием материала к этим приспособлениям и оборудованию. При работе с сухим материалом его налипания и примерзания не происходит. В реальных условиях, особенно при добыче (погрузке, транспортировании и доставке) полезного ископаемого такие условия возникают чрезвычайно редко. Обычно горная масса влажная или даже мокрая, что и является причиной налипания и примерзания.

За это время создано и разработано несколько десятков способов, устройств и приспособлений для решения этой проблемы. Однозначного и эффективного решения не найдено. Причиной этого является то, что сама горная масса обладает разными свойствами даже в пределах одного месторождения, а также разной степенью влажности. Поэтому создание способов и устройств борьбы с прилипанием и примерзанием горной массы к оборудованию остается актуальной задачей.

Для облегчения разработки новых способов и средств, которые будут более эффективны существующих, необходимо их анализировать и обобщать результаты применения. Наиболее простой и эффективный способ обобщения и анализа — это

классификация изучаемого. В настоящее время известна классификация [1] существующих средств борьбы с прилипанием и примерзанием сыпучих материалов, подразделяющая их на два класса — группы. Первая группа включает средства восстановления сыпучести, а вторая — профилактические средства. Настоящая классификация, на наш взгляд, неполная и не охватывает многие известные способы и приспособления, устройства и механизмы.

Нами предлагается более полная и развернутая классификация (рис. 1) (практически в развитие существующей).

При этом рассматриваются способы и средства борьбы с прилипанием и примерзанием горной массы в ковшах экскаваторов и погрузочно-доставочных машин (ПДМ), шахтных вагонетках и железнодорожных вагонах, а также на транспортной ленте ленточных конвейеров, поскольку природа (причина) явления одна и та же. Поэтому воздействие на слой налипшего и примерзшего материала в указанных механизмах принципиально одинаково. Существующие конструктивные отличия, связанные с обработкой поверхностей различных конфигураций вторичны. Этим настоящая классификация существенно отличается от имеющихся.

В соответствии с представленной на рис. 1 классификацией все способы и средства борьбы с

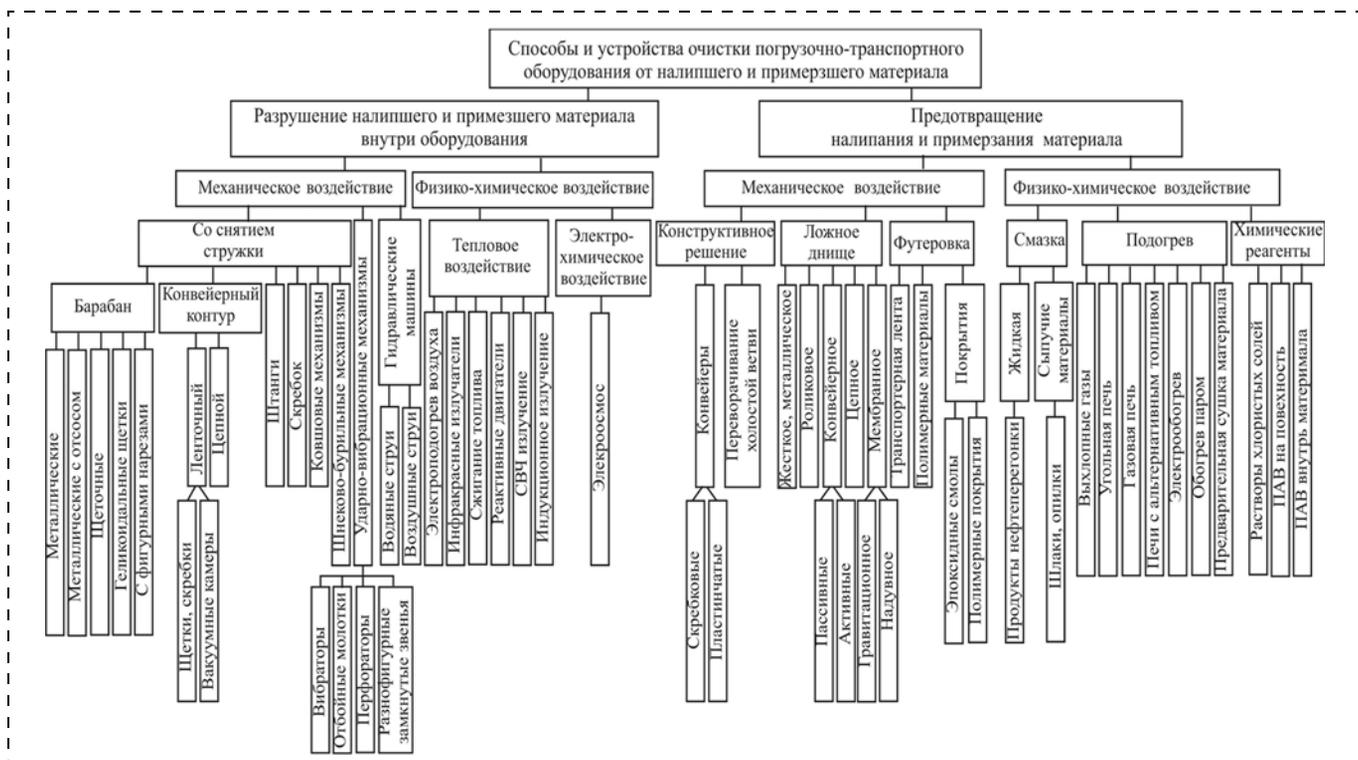


Рис. 1. Классификация способов и средств борьбы с прилипанием и примерзанием полезного ископаемого на днище и стенки ковшей экскаваторов, ковшей ПДМ, шахтных вагонеток, железнодорожных вагонов и на ленту ленточного конвейера

прилипанием и примерзанием полезного ископаемого в процессе погрузки, транспортирования и доставки подразделяются на способы и средства, обеспечивающие разрушение налипшего и примерзшего материала и направленные на предотвращение налипания и примерзания материала. Оба эти класса подразделяются на подклассы: механическое и физико-химическое воздействия.

Наиболее представительной группой, как по числу, так и по конкретному конструктивному исполнению являются способы и средства, воздей-

ствующие на прилипший и примерзший материал со *снятием стружки*.

В этой группе много устройств, использующих в качестве основного исполнительного органа *барабаны* различных конструкций и размеров. Некоторые барабаны имеют размеры, сравнимые с размером очищаемой вагонетки, другие — барабаны меньшего размера. Все устройства с барабанами обеспечивают их ввод внутрь вагонетки сверху или снизу на пунктах очистки вагонеток. Известны устройства с *металлическими* барабанами, снабжен-

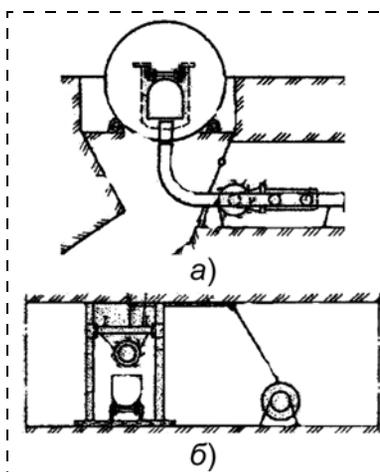


Рис. 2. Металлический барабан при подаче в вагонетку снизу (а) и сверху (б)

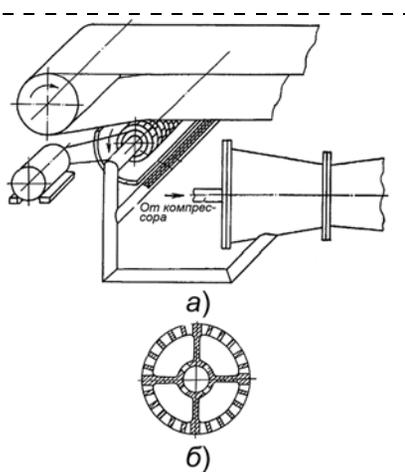


Рис. 3. Барабаны с воздухозаборными отверстиями: а — размещение барабана на конвейере; б — конструкция барабана

ными щетками и/или скребками (рис. 2) [2—5].

Существуют барабаны, имеющие на своей поверхности *воздухозаборные отверстия* для отсоса разрушенного материала (рис. 3) [6—9], а также составленные из металлических или пластиковых проволоч, так называемые *щеточные барабаны* (рис. 4) [2, 10—12].

Известны барабаны, составленные спиральными щетками, в виде многозаходного *геликоидального* стержня (рис. 5) [12]. Существуют барабаны, имеющие по образующей прямые и фигурные и винтовые нарезы (рис. 6, 7) [12, 13]. При очистке ленты ленточного конвейера от налипшего или намерзшего материала барабаны устанавливаются у холостой

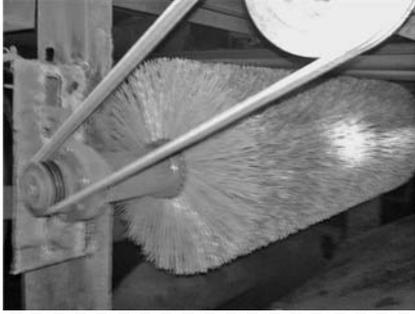


Рис. 4. Щеточный барабан под холостой ветвью ленточного конвейера

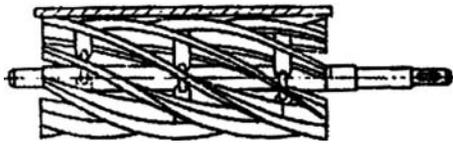


Рис. 5. Барабан, составленный спиральными щетками, в виде многозаходного геликоидального стержня

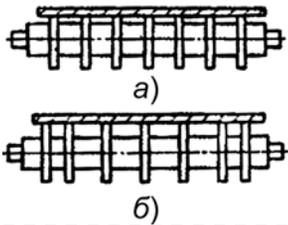


Рис. 6. Барабаны с прямыми равномерными (а) и неравномерными (б) нарезками

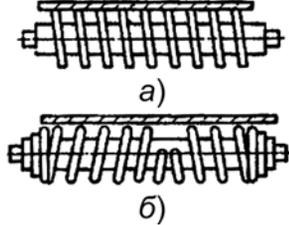


Рис. 7. Барабаны с наклонными равномерными (а) и неравномерными (б) нарезками

ветви ленты ленточного конвейера снизу.

Кроме барабанных устройств в этой группе имеется множество ленточных и цепных конвейерных контуров. Известны ленточные конвейерные контуры, у которых вдоль ленты укреплены щетки, скребки (рис. 8) [14] и вакуумные камеры (рис. 9) [15], а также цепные конвейерные контуры (рис. 10) [3, 11, 12, 16].

При очистке вагонов от налипшего и примерзшего материала чаще используются цепные, ленточные конвейерные контуры, вводимые внутрь вагона сверху на пункте чистки вагонов, а при очистке ленты ленточного конвейера применяются ленточные конвейерные контуры, которые устанавливаются у холостой ветви ленты ленточного конвейера снизу.

Среди устройств этой группы также известны устройства со штангами с шарошками (рис. 11) [17—19], ножами и зубками (рис. 12) [7, 17, 20—22], прикрепленными к вращающимся горизонтальным или вертикальным осям. Штанги к осям могут быть прикреплены жестко, а шарошки или зубки подпружинены, что обеспечивает последовательную очистку днища вагонетки от налипшего или примерзшего материала.

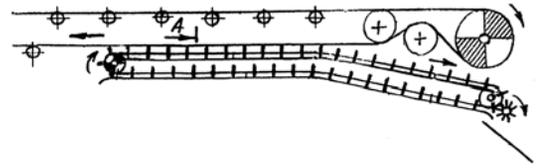


Рис. 8. Ленточный конвейерный контур, у которого вдоль ленты укреплены щетки, скребки

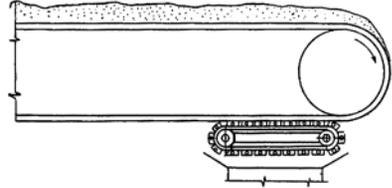


Рис. 9. Ленточный конвейерный контур с вакуумными камерами

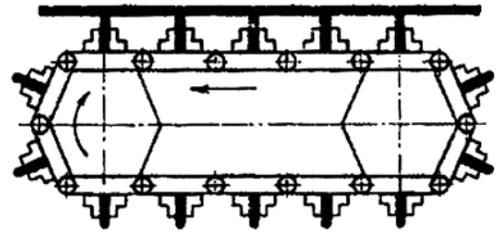


Рис. 10. Цепной конвейерный контур с щетками

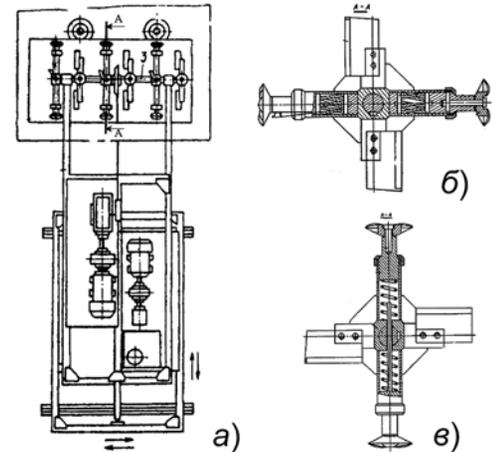


Рис. 11. Установка, оснащенная штангами с дисковыми шарошками (а), торсионными пружинами (б) и витыми пружинами (в)

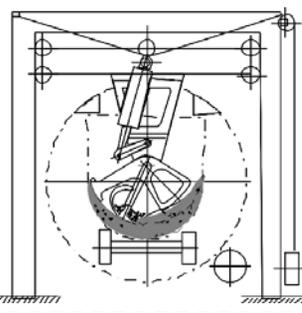


Рис. 12. Машина, оснащенная штангой с ножом

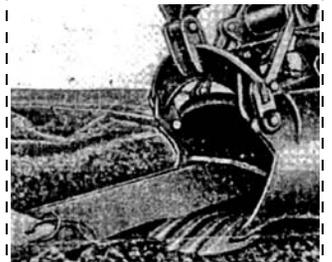


Рис. 13. Очистка ковша экскаватора скребком

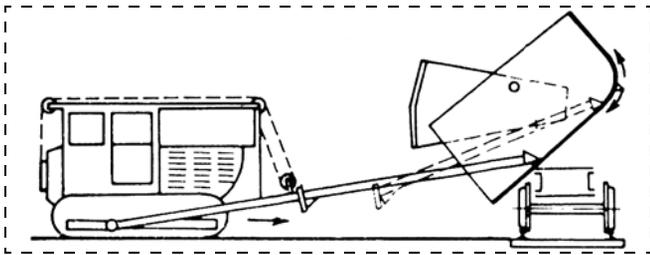


Рис. 14. Скребокый механизм на очистке вагона

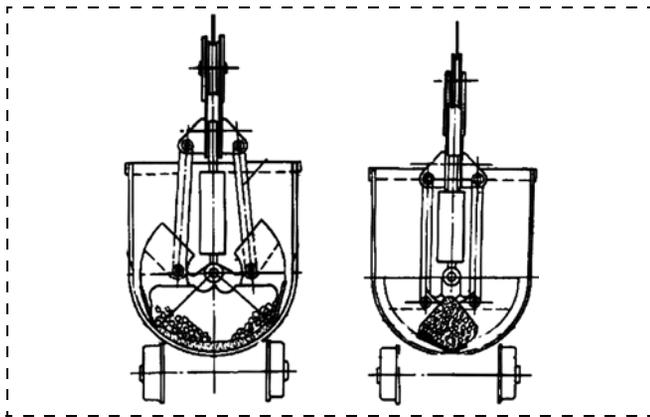


Рис. 15. Двухчелюстной грейдер при очистке вагонетки

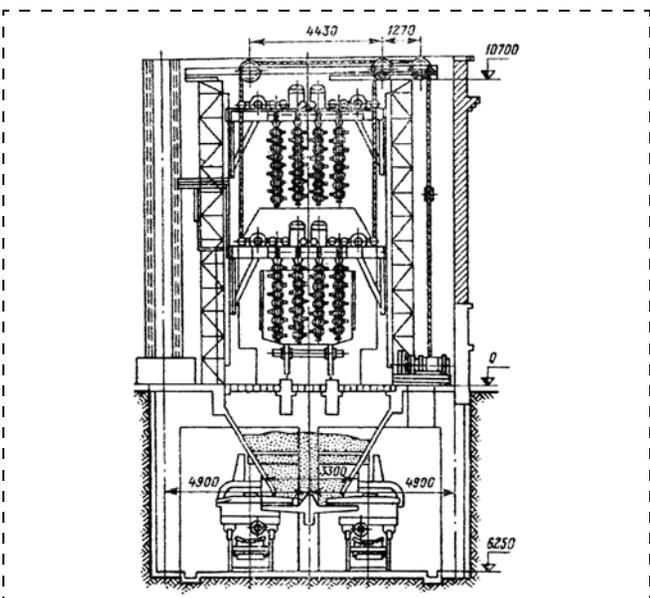


Рис. 16. Шнеково-бурильные машины

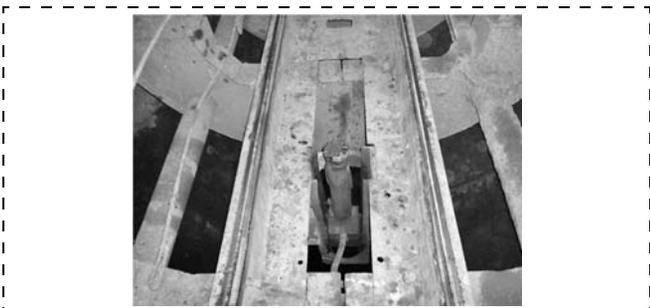


Рис. 17. Вибратор, встроенный в опрокидыватель

Известны также скребокые приспособления (рис. 13) [4] и механизмы (рис. 14) [12, 23], включающие струнные приспособления [24], обеспечивающие очистку ковшей экскаваторов и лент ленточных конвейеров. Среди устройств этой группы также известны *ковшовые механизмы*, основными из которых являются грейферы. Этими механизмами, как правило, производят разгрузку вагонеток и вагонов. Но двухчелюстные грейферы используются также и для очистки вагонов от налипшего или примерзшего материала (рис. 15) [25, 26].

Известны также *шнеково-бурильные* (рис. 16) [1] и *бурильные* механизмы [27], которые используются при промерзании материала на большую величину.

Наиболее простыми из известных в подклассе устройств, осуществляющих механическое воздействие при разрушении налипшего и намерзшего материала, поэтому более легко осуществимыми на практике, являются *ударно-вибрационные механизмы*. Эти механизмы, в отличие от предыдущих, не оказывают непосредственного воздействия на налипший или примерзший материал, а только опосредованно, воздействуя на стенки вагонеток и вагонов или ленту ленточного конвейера, соприкасающихся с этим материалом. Это воздействие обеспечивается *вибраторами* (рис. 17) [1, 2, 28–34], *отбойными молотками* или *перфораторами* [1, 2, 35, 36] через пластины, закрепленные на кузове вагонетки или вагона, *разнофигурными замкнутыми звеньями* с прямолинейными участками разной длины (рис. 18) [37], укрепленными на оси, перпендикулярной ленте, и прижатыми к ней, что приводит звенья в движение, обеспечивающее удары звеньями в различных местах по ширине и встряхивание ленты с различной амплитудой.

Следующая группа устройств, оказывающих механическое воздействие при разрушении при-

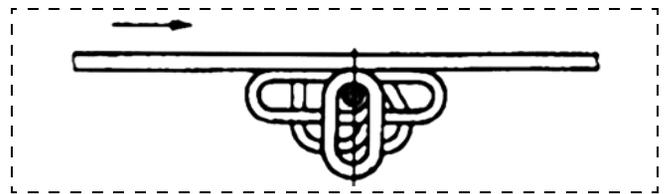


Рис. 18. Разнофигурные замкнутые звенья

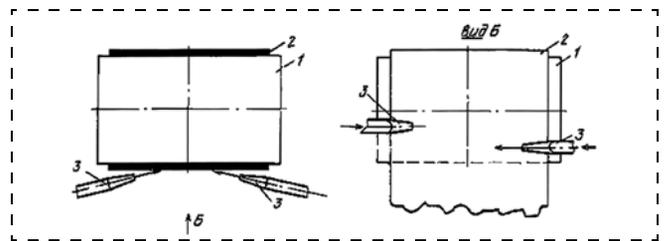


Рис. 19. Устройства, оказывающие гидравлическое воздействие: 1 — барабан; 2 — конвейерная лента; 3 — сопла

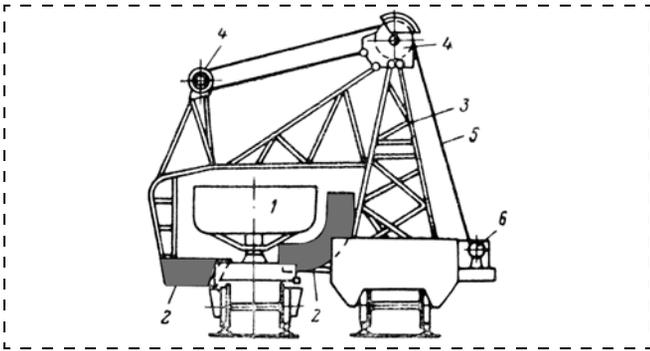


Рис. 20. Установка с инфракрасными излучателями: 1 — вагонетка; 2 — инфракрасные излучатели; 3—6 — устройства и механизмы, устанавливающие и удерживающие инфракрасные излучатели

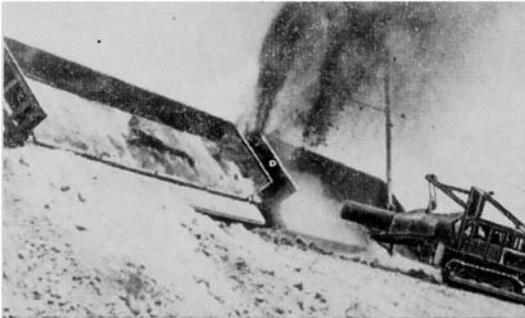


Рис. 21. Установка с реактивным двигателем при очистке вагонов

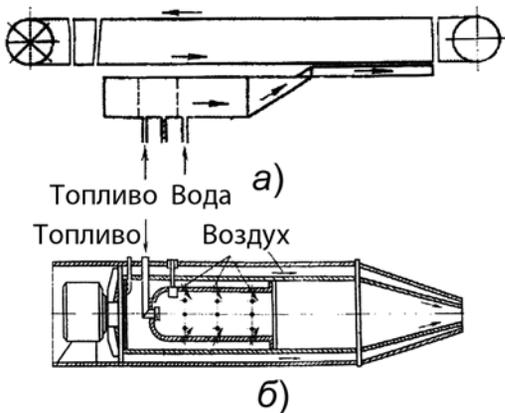


Рис. 22. Размещение установки для сжигания топлива, обеспечивающую сушку материала на ленте (а), и конструкция установки для сжигания топлива (б)

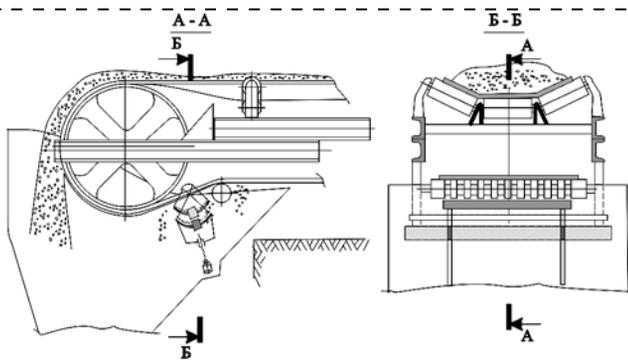


Рис. 23. Сушка прилипшего материала СВЧ-излучателями

липшей или примерзшей горной массы, известна как *гидравлические машины*. Эти устройства путем непосредственного размыва или раздува налипшего или примерзшего материала водяной или воздушной (рис. 19) [37—39] струей очищают вагонетки, вагоны и ленты ленточного конвейера.

Следующим подклассом способов и устройств, разрушающих налипший и примерзший материал, являются способы и устройства, оказывающие *физико-химическое воздействие* на налипший и примерзший материал. В этом подклассе наиболее представительна группа, включающая способы и устройства, оказывающие *тепловое воздействие*.

В этой группе известны устройства, обеспечивающие *подогрев воздуха* [1, 40—43], подаваемого внутрь вагона для отогрева примерзшего материала; устройства с *инфракрасными излучателями* (рис. 20) [1], направляемыми на примерзший или прилипший материал к конвейерной ленте, позволяющими осуществлять его отогрев или сушку с последующей очисткой ленты.

Известно применение *реактивных двигателей* (рис. 21) [1, 2, 44] при очистке вагонов на открытых работах, используя основной эффект — разогрев примерзшего материала, при этом предотвращая разлет материала от воздействия реактивной струи.

Кроме того, известны устройства, обеспечивающие подогрев прилипшего и примерзшего материала с использованием *сжигания топлива* (рис. 22) [1, 2] путем направления продуктов горения на этот материал.

Известно устройство, использующее для сушки прилипшего и примерзшего материала к ленте ленточного конвейера СВЧ и индукционное излучения (рис. 23) [45], после чего материал отслаивается от ленты.

Следующая группа способов и устройств в подклассе *физико-химического воздействия* при разрушении налипшего и примерзшего материала — *электрохимическое воздействие*, среди которых известно устройство, осуществляющее *электроосмос* (рис. 24) [1, 34, 46—48], обеспечивающее прогрев слоя и оттаивание материала по/над стенкой вагона или вагонетки, что дает возможность высвободить вагон или вагонетку от материала без остатка.

Общеизвестно, что процесс легче предупредить, чем бороться с последствиями его проявления. В связи с этим проблемам предотвращения налипания и при-

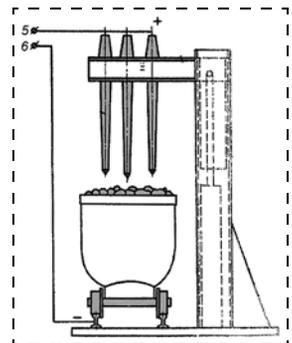


Рис. 24. Установка для обеспечения электроосмоса в массиве материала

мерзания материала уделяется серьезное внимание. Способы и устройства этого класса (см. рис. 1), как и в предыдущем случае, подразделяются на два подкласса — способы и устройства, осуществляющие механическое и оказывающие физико-химическое воздействие на материал.

Среди способов и устройств, предотвращающих налипание и примерзание материала, осуществляющих механическое воздействие, известны конструктивные решения, заключающиеся в том, что при принятии решения о применении транспортирующего оборудования отдавать предпочтение, например, самоочищающимся *скребковым конвейерам* или конвейерам с ломающейся транспортирующей поверхностью как у *пластинчатых конвейеров*. Известны устройства в этом классе, осуществляющие *переворачивание холостой ветви ленты конвейера* (рис. 25) [12], которое кроме очистки ленты от налипшего материала предохраняет опорные ролики конвейера от загрязнения.

Довольно представительной в этом подклассе является группа способов и устройств, использующих *ложное днище*. Эффект предотвращения налипания и примерзания ложным днищем обеспечивается в регулярном очищении вагонетки или вагона от транспортируемого материала, не давая ему накапливаться и, следовательно, прилипнуть или примерзнуть.

Среди *ложных днищ* известны *жесткое металлическое*, которое при перевороте вагонетки в опрокидывателе отделяется от днища и перемещается вместе с материалом под действием гравитационных сил (рис. 26) [49, 50], которое выдвигается из ковша или сдвигается вдоль вагона с помощью специальных механизмов [1], предотвращая налипание на днище; *роликковое* (рис. 27) [51], когда в днище ковша экскаватора встроены ролики, вращающиеся при загрузке ковша и его выгрузке, облегчая эти процессы и предотвращая налипание материала на днище; *конвейерное с пассивным*

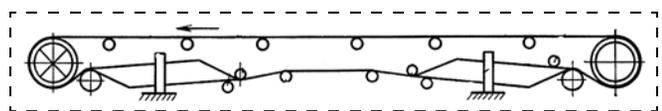


Рис. 25. Переворачивание холостой ветви ленточного конвейера

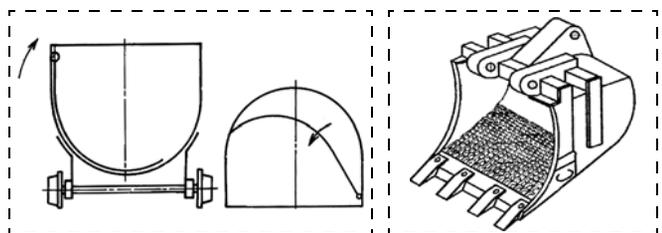


Рис. 26. Ложное металлическое днище

Рис. 27. Ложное роликковое днище

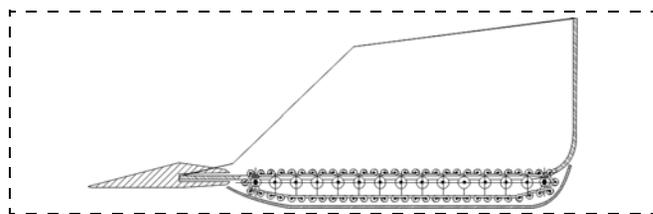


Рис. 28. Ложное конвейерное днище с пассивным конвейерным контуром

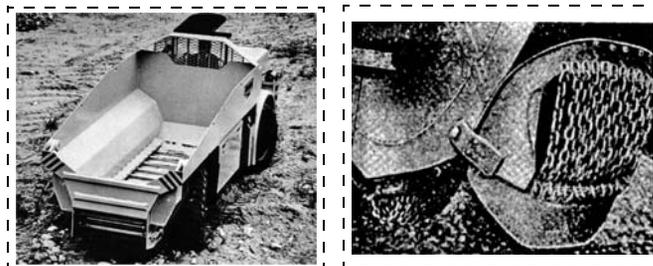


Рис. 29. Кузов самосвала, оснащенный ложным днищем в виде скребкового конвейера

Рис. 30. Ковш роторного экскаватора с цепным ложным днищем скребкового конвейера

(без привода) конвейером (рис. 28) [52] у днища, перемещение транспортирующего органа у которого происходит за счет сил трения с загружаемым и разгружаемым материалом, облегчая его загрузку и разгрузку, одновременно предотвращая его прилипание или примерзание; с *активным* (с приводом) конвейером (рис. 29) [52] (как правило, скребковым или пластинчатым), установленным у днища, облегчающим загрузку специальных вагонов, вагонов-перегрузателей и их разгрузку, предотвращая налипание материала на днище этих вагонов; *цепное* (рис. 30) [35, 36], когда днище ковша конвейера устроено рядом цепей, которые при разгрузке выворачиваются вслед за разгружаемым материалом; *мембранное*, когда над днищем устраивается мембрана, например, из отработанной транспортной ленты, причем мембрана может работать за счет *гравитационных сил* (рис. 31) [53—55], когда она выворачивается вслед за материалом при перевороте вагонетки в опрокидывателе под воздействием груза, прикрепленного к мембране, и стряхивает с себя остатки материала, таким образом, процесс налипания предотвращается. *Ложное днище, выполненное из мембраны, может быть надувное* (рис. 32) [55—58], когда в процессе разгрузки под мембрану подаются выхлопные газы автомобиля или сжатый воздух, которые обеспечивают выворачивание мембраны и выгрузку материала из кузова автомобиля или вагонетки и отслоение материала от мембраны за счет натяжения материала мембраны и разрушения адгезионных связей между этими материалами.

Следующая группа устройств в этом подклассе обеспечивает *футеровку* днища и стенок вагонеток или вагонов, в качестве которых широко исполь-

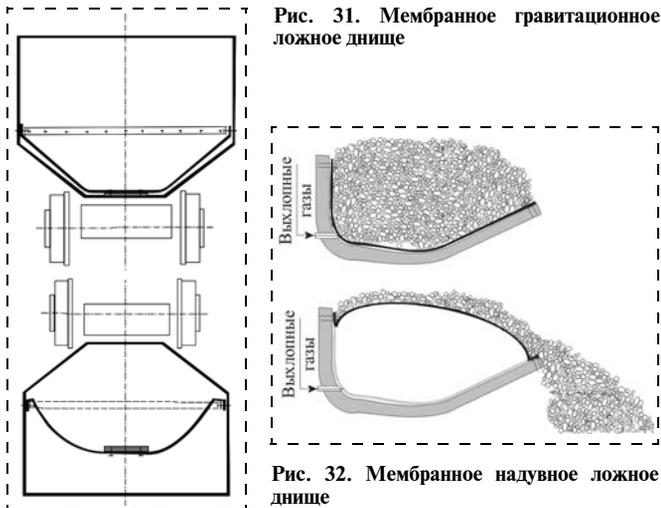


Рис. 31. Мембранное гравитационное ложное днище

Рис. 32. Мембранное надувное ложное днище

зуют *полимерные материалы* и *транспортную ленту* (рис. 33) [1, 59, 60]. Следующим видом футеровки являются *покрытия*. Футеровка предыдущего вида крепится к днищу вагонетки или вагона механически или с помощью клея. Покрытия же контактируют с футеруемой поверхностью на молекулярном уровне, например, эмалевые покрытия, покрытия из *эпоксидных смол* (эпоксидно-тиокольные, эпоксидно-каменноугольные, эпоксидно-антраценовые, эпоксидно-новолачный биоксополимер ЭББС.82, эпоксидно-кремнийорганические) или *полимерные покрытия* (полиуретан, полиэтилен, фторопласт, графитопласт и др.) [1, 12, 52]. У всех материалов, применяемых в качестве футеровки, малая смачиваемость водой, что значительно снижает возможность прилипания и примерзания к днищу и стенкам ковшей, кузовов, вагонеток и вагонов, даже в случае слипания и промерзания транспортируемого материала он выгружается из емкости комком.

Следующая группа устройств наносит *смазку* на поверхность транспортируемого оборудования, обеспечивая снижение или предотвращение непосредственного ее контакта с перевозимым материалом. Смазка осуществляется жидкими, включая вязкие, и сыпучими материалами. В качестве *жидкой смазки* применяют *продукты нефтепереработки*: ниогрин, продукты КОС, РПС-6 и др. [1]. Сыпучие материалы, которые при размещении их между перевозимым материалом и материалом емкости для их перевозки, играют роль смазки. В качестве *сыпучей смазки* применяют *опилки*, промытую *гальку* или *щебень*, жженные *шлаки* и др. [1].

Смазка, подогрев и химические реагенты отнесены нами к подклассу *физико-химического воздействия* при предотвращении налипания и примерзания материала. При этом подогрев в этом классе устройств существенно отличается от теп-

лового воздействия в предыдущем классе. Тепловое воздействие при разрушении налипшего и примерзшего материала осуществляется только в месте разгрузки. *Подогрев* при предотвращении налипания и примерзания выполняется непрерывно в процессе всего времени перевозки материала, не давая ему примерзнуть к стенкам оборудования. Примером такого воздействия является подогрев кузова самосвала *выхлопными газами* (рис. 34) [1] или применение *печей с электрообогревом* или использующих *уголь, газ* или другое *альтернативное топливо*. При этом печи могут быть либо встроены в обогреваемый вагон (рис. 35) [1], либо вынесены в передвижную котельную с разводкой тепла (*пара*) по всему составу [1].

Предварительная сушка материала перед загрузкой в вагон существенно снижает возможность прилипания или примерзания его при дальнейшей перевозке [1].

Следующей группой способов и устройств, оказывающих физико-химическое воздействие при предотвращении налипания и примерзания материала, является применение различных *химических реагентов*. Например, стремление к снижению температуры замерзания перевозимого материала привело к использованию растворов хлористых солей,



Рис. 33. Вагонетка с днищем, футерованным транспортной лентой

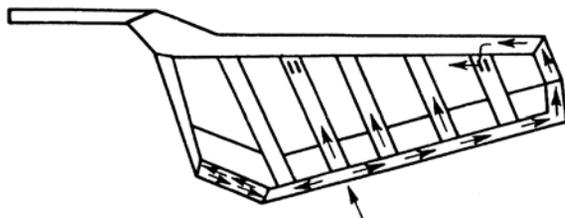


Рис. 34. Подогрев кузова выхлопными газами

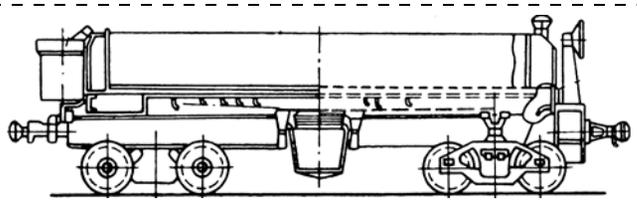


Рис. 35. Обогрев кузова думпкара газовой печью

а изменение поверхностного натяжения воды и смачиваемой способности как *поверхности материала емкости* для перевозки, так и *перевозимого материала* — к применению различных *поверхностно-активных веществ* [1, 52].

Поскольку классификация (см. рис. 1) способов и средств является инструментом для облегчения дальнейшего их анализа, выявляя все известные и классифицируя их по классам, подклассам, группам и видам, при ее составлении не ставилась задача исследовать положительные или отрицательные свойства каждого из них, как и не исследовалась простота или сложность их конструктивного исполнения. Поэтому приведенные рисунки, иллюстрирующие те или иные способы или средства, максимально просты и не имеют позиций, раскрывающих подробный состав известного технического решения, но имеется обширный список литературы со сносками внутри текста, позволяющий подробно изучить способы и средства, приведенные в классификации. Используемые в настоящей классификации признаки позволили однозначно определить место в классификационном пространстве каждого способа и каждого устройства.

Список литературы

1. **Парунакян В. Э., Синянская Р. И.** Борьба с прилипанием и примерзанием горной массы к рабочим поверхностям транспортного оборудования на карьерах. М.: Недра, 1975. 144 с.
2. **Кузнецов Б. А., Ренгевич А. А., Шорин В. Г.** и др. Транспорт на горных предприятиях / Под общ. ред. Б. А. Кузнецова. М.: Недра, 1976. 552 с.
3. **А. с. 111143 (СССР).** Машина для очистки шахтных вагонеток / В. Г. Говоров.
4. **А. с. 117915 (СССР).** Машина для очистки шахтных вагонеток / А. Е. Сазонов.
5. **А. с. 1122841 (СССР).** Устройство для очистки шахтных вагонеток / Ю. А. Лебединцев, Л. М. Сарры, А. М. Тишкин и др.; опубл., Бюл. № 41, 1984.
6. **Аканов Х. Г.** Теория механической очистки конвейерных лент при транспортировании влажных горных масс: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. М., 1996. 308 с.
7. **А. с. 1265377 (СССР).** Устройство для очистки шахтных вагонеток / Л. М. Сарры, А. М. Тишкин, Ю. П. Печерский и др.; опубл., Бюл. № 39, 1986.
8. **А. с. 825415 (СССР).** Устройство для очистки ленты конвейера / П. Г. Сергеев; опубл., Бюл. № 16, 1981.
9. **А. с. 835906 (СССР).** Устройство для очистки ленты конвейера / А. П. Манякин, О. С. Лавриненко, С. Г. Пархоменко и др.; опубл., Бюл. № 21, 1981.
10. **А. с. 184289 (СССР).** Машина для очистки железнодорожных полувагонов / А. И. Иванов, В. Г. Герасимов; опубл., Бюл. № 15, 1966.
11. **Штокман И. Г., Кондрахин П. М., Маценко В. Н.** и др. Расчет и конструирование горных транспортных машин и комплексов / Под общ. ред. И. Г. Штокмана. М.: Недра, 1975. 464 с.

12. **Дьяков В. А., Шахмейстер Л. Г., Дмитриев В. Г.** и др. Ленточные конвейеры в горной промышленности / Под ред. А. О. Спиваковского. М.: Недра, 1982. 349 с.
13. **А. с. 489698 (СССР).** Устройство для очистки ленты конвейера / Е. А. Грунин, А. Д. Юдин; опубл., Бюл. № 40, 1975.
14. **Пат. 2272768 (РФ).** Ленточный конвейер с устройством для очистки ленты / Тарасов Ю. Д.; опубл., 2006.
15. **А. с. 859266 (СССР).** Устройство для очистки ленты конвейера / Б. Я. Грувер, В. Д. Вейсбейн, М. Х. Кац; опубл., Бюл. № 32, 1981.
16. **А. с. 541702 (СССР).** Устройство для очистки внутренних поверхностей железнодорожный полувагонов / Д. С. Плюхин, Л. И. Лях; опубл., Бюл. № 1, 1977.
17. **А. с. 535420 (СССР).** Рабочий орган устройства для очистки шахтных вагонеток / А. А. Сереченко, А. А. Ткаченко, Г. С. Хрипко и др.; опубл., Бюл. № 42, 1976.
18. **А. с. 1315622 (СССР).** Устройство для очистки шахтных вагонеток / М. С. Нечепуренко, И. Г. Резников, В. А. Опрышко и др.; опубл., Бюл. № 21, 1987.
19. **А. с. 2001708 (СССР).** Устройство для очистки емкостей / Н. Л. Мамонтов, Б. В. Хабибуллин, С. А. Ляпцев и др.; опубл., Бюл. № 39—40, 1993.
20. **А. с. 281523 (СССР).** Устройство для очистки шахтных вагонеток с глухим кузовом / А. И. Критов, А. А. Угнивенко, М. Д. Лосев; опубл., Бюл. № 29, 1970.
21. **А. с. 567821 (СССР).** Устройство для очистки шахтных вагонеток / Г. Г. Аксенов, В. Ф. Чуб; опубл., Бюл. № 29, 1977.
22. **А. с. 583320 (СССР).** Устройство для очистки шахтных вагонеток / В. Ф. Чуб, Г. Г. Аксенов; опубл., Бюл. № 45, 1977.
23. **А. с. 472874 (СССР).** Устройство для очистки конвейерной ленты / Ю. А. Подопригра, В. И. Сероштан, В. В. Шконда и др.; опубл., Бюл. № 21, 1975.
24. **А. с. 307027 (СССР).** Устройство очистки конвейерной ленты от прилипших частиц транспортируемого материала / И. М. Резников, И. С. Доренская; опубл., Бюл. № 20, 1971.
25. **А. с. 326303 (СССР).** Грейфер / Н. М. Авалиани, В. М. Казенов, В. Х. Кишенский и др.; опубл., Бюл. № 4, 1972.
26. **А. с. 1100165 (СССР).** Устройство для очистки вагонеток / В. С. Махатадзе, А. Н. Гугунишвили; опубл., Бюл. № 24, 1984.
27. **Пат. 2433080 (РФ).** Устройство для выгрузки смерзшихся сыпучих грузов из железнодорожных люковых полувагонов / Никишичев Д. Б.; опубл., 10.11.2011.
28. **А. с. 116840 (СССР).** Устройство для вибрационной очистки шахтных вагонеток / Г. Я. Палант.
29. **А. с. 264219 (СССР).** Устройство для подачи сжатого воздуха к пневмовибраторам кругового вагоноопрокидывателя / А. П. Омельченко, В. Н. Пшеничный; опубл., Бюл. № 8, 1970.
30. **А. с. 276880 (СССР).** Устройство для очистки шахтных вагонеток / А. П. Омельченко, В. Н. Пшеничный; опубл., Бюл. № 24, 1970.
31. **А. с. 1393737 (СССР).** Устройство для очистки шахтных вагонеток / А. Г. Шаталов; опубл., Бюл. № 17, 1988.
32. **А. с. 442972 (СССР).** Способ очистки конвейерной ленты / А. В. Галинскас, К. М. Рагульскис, М. А. Шевчук и др.; опубл., Бюл. № 34, 1974.
33. **Пат. 2009087 (РФ).** Способ вибрационной очистки ленты конвейера и устройство для его осуществления / Петренко П. И., Петренко В. П.; опубл., 1994.
34. **Пат. 2395444 (РФ).** Устройство для разогрева смерзшегося груза в вагоне / Москвичев О. В., Сморгачева К. Э., Булатов А. А., Суетин В. В.; опубл., 27.07.2010.

35. **Басков Г. М.** Приспособления для очистки ковшей экскаваторов // Горный журнал. 1962. № 12. С. 59–60.

36. **А. с. 1323666 (СССР).** Ковш экскаватора / Н. В. Менд-рух; опубл., Бюл. № 26, 1987.

37. **А. с. 1364571 (СССР).** Устройство для очистки ленты конвейера / В. Д. Елмаков, Н. Р. Масленников, А. Ю. Захаров и др.; опубл., Бюл. № 1, 1988.

38. **Пат. 2013332 (РФ).** Способ очистки холостой ветви ленты конвейера / П. Б. Матуев, Б. А. Матуев; опубл., 1994.

39. **А. с. 1155533 (СССР).** Устройство для очистки ленты конвейера / В. П. Кузьминский, А. А. Остапенко, А. Ф. Ратушный и др.; опубл., Бюл. № 18, 1985.

40. **А. с. 901189 (СССР).** Устройство для сушки ленты конвейера / А. А. Немченко, Л. К. Саилинов, Е. М. Гнедова; опубл., Бюл. № 4, 1982.

41. **А. с. 232817 (СССР).** Способ очистки ленты конвейера от прилипших частиц транспортируемого материала / К. В. Кузьминов; опубл., Бюл. № 1, 1968.

42. **Пат. 2448030 (РФ).** Способ выгрузки из вагона смерзшегося угля / В. И. Шарлаимов, Н. А. Богданова, Л. В. Ногаева; опубл., 2010.

43. **А. с. 1033404 (СССР).** Устройство для очистки ленты конвейера / Е. Г. Нохрин, В. В. Кохан; опубл., Бюл. № 29, 1983.

44. **А. с. 443076 (СССР).** Способ очистки конвейерной ленты / А. П. Дмитриев, Л. С. Дербенев, С. А. Гончаров и др.; опубл., Бюл. № 23, 1974.

45. **Пат. 2506217 (РФ).** Устройство для очистки ленты конвейера / В. В. Сергеев, Т. Ф. Марзоев; опубл., Бюл. № 4, 2014.

46. **А. с. 503757 (СССР).** Устройство для очистки шахтных вагонеток электроосмосом / В. Т. Васильев, К. Д. Лизунов, Э. Э. Приб, В. К. Дудукин; опубл., Бюл. № 7, 1976.

47. **А. с. 900038 (СССР).** Устройство для очистки шахтных вагонеток / А. Н. Казаков, В. К. Вороненко, Н. И. Казаков и др.; опубл., Бюл. № 3, 1982.

48. **А. с. 1536024 (СССР).** Устройство для очистки шахтных вагонеток / А. Н. Казаков, Н. И. Казаков; опубл., Бюл. № 2, 1990.

49. **А. с. 1081043 (СССР).** Шахтная вагонетка / В. Н. Олефиренко; опубл., Бюл. № 11, 1984.

50. **Пат. 2478504 (РФ).** Шахтная вагонетка для транспортирования налипающей горной массы / Тарасов Ю. Д.; опубл., 2011.

51. **Ляшенко А. Ю.** Совершенствование ковшовых рабочих органов экскаваторов выполнением днища в виде роликовой поверхности: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Новочеркасск, 2013.

52. **Дунаевская М. П.** Разработка и обоснование эффективных средств защиты емкостей транспортного и перегрузочного оборудования от прилипания и примерзания горной массы: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 1984. 255 с.

53. **А. с. 1063675 (СССР).** Вагонетка / В. Н. Потураев, В. И. Дырда, А. В. Коваль и др.; опубл., Бюл. № 48, 1983.

54. **Pat. US 5312162 A,** Particulate handlers.

55. **Пат. 2503563 (РФ).** Устройство для предотвращения налипания транспортируемого материала на днище вагонеток (варианты) / Сергеев В. В., Кусов З. М.; опубл., Бюл. № 1, 2014.

56. **Бураков В. А.** Применение гибких оболочек на транспорте. М.: Транспорт, 1974. 128 с.

57. **Пат. 2293702 (РФ).** Скиповая установка для наклонного подъема / Фурсов Е. Г., Дюдин Ю. К., Садыков Г. Р. и др.; опубл., 2007.

58. **А. с. 207954 (СССР).** Железнодорожный вагон типа "Хоппер" / Ф. М. Осповат; опубл., Бюл. № 3, 1967.

59. **А. с. 1164122 (СССР).** Кузов шахтной вагонетки / Н. Л. Шимолин, А. С. Березин; опубл., Бюл. № 24, 1985.

60. **Пат. 95106240 (РФ).** Устройство для очистки вагонов от остатков налипшего или намерзшего сыпучего материала / Шабалин В. Ф., Дьяков С. П., Атландеров В. И.; опубл., 1996.

V. V. Sergeev, Professor, **Z. M. Kusov**, Graduate Student, **T. F. Marzoev**, Graduate Student, Mining Chair the Noth Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University), Vladikavkaz
E-mail: w_sergeev_47@mail.ru

Classification of Methods and Means of Dealing with Adhesion and the Freezing of Minerals in the Process of Loading, Transportation and Delivery

During excavation, loading and transportation there is a problem of material sticking a freezing to the devices and equipment carrying out the abovementioned processes. In spite of the variety of ways and desingns, this problem can't be effectively decided. The classification of methods and means of dealing with adhesion and the freezing of minerals in the process of loading, transportation and delivery has been suggested. particularly, the mining mass freezing-on the excavators buckets, loading machines, ore cabins, rail-road carriage and on the conveyor belts having the simmlilar nature. Hence, the impact on the stucked material layer is the same.

Keywords: excavator bucket, loading machine bucket, mine trolley, dumpcar, transporter belt, ore mass

References

1. **Parunakjan V. Je., Sinjanskaja R. I.** Ore mass antis ticking and antifreezing to the working surfaces of the transport equipment at quarries. M.: Nedra, 1975. 144 p.

2. **Kuznecov B. A., Rengevich A. A., Shorin V. G.** i dr. Mining transport. M.: Nedra, 1976. 552 p.

3. **Govorov V. G.** A. s. 111143 (USSR). Mashines for the mine cars cleaning.

4. **Sazonov E. A.** A. s. 117915 (USSR). Mashines for the mine cars cleaning.

5. **Lebedincev Ju. A., Sarry L. M., Tishkin A. M.** i dr. A. s. 1122841 (USSR). Equipment for the mine cars cleaning. B. I. 1984, № 41.

6. **Akanov H. G.** Theory of the conveyor belts mechanical cleaning during the ore mass trasportation: Avtoref. dis. ... dokt. nauk. M., 1996. 308 p.

7. **Sarry L. M., Tishkin A. M., Pecherskij Ju. P.** i dr. A. s. 1265377 (USSR). Equipment for the mine cars cleaning. B. I. 1986, N. 39.
8. **Sergeev P. G.** A. s. 825415 (USSR). Equipment for the conveyor belt cleaning. B. I. 1981, N. 16.
9. **Manjakin A. P., Lavrinenko O. S., Parhomenko S. G.** i dr. A. s. 835906 (USSR). Equipment for the conveyor belt cleaning. B. I. 1981, N. 21.
10. **Ivanov A. I., Gerasimov V. G.** A. s. 184289 (USSR). Machine for the railroad open wagons cleaning. B. I. 1966, N. 15.
11. **Shtokman I. G., Kondrahin P. M., Macenko V. N.** i dr. *Calculation and design of the transport machines and complexes.* M.: Nedra, 1975. 464 p.
12. **D'jakov V. A., Shahmejster L. G., Dmitriev V. G.** i dr. *Belt conveyors in mining.* Edited by A. O. Spivakovskogo. M.: Nedra, 1982. 349 p.
13. **Grunin E. A., Judin A. D.** A. s. 489698 (USSR). Equipment for the conveyor belt cleaning. B. I. 1975, N. 40.
14. **Tarasov Ju. D.** Pat. 2272768 (RF). Belt conveyor with belt cleaning. 2006.
15. **Gruver B. Ja., Vejsbejn V. D., Kac M. H.** A. s. 859266 (USSR). Equipment for the conveyor belt cleaning. B. I. 1981, N. 32.
16. **Pljuhina D. S., Ljah L. I.** A. s. 541702 (USSR). Machine for the internal surfaces cleaning of the railroad open wagons. B. I. 1977, N. 1.
17. **Serechenko A. A., Tkachenko A. A., Hripko G. S.** i dr. A. s. 535420 (USSR). Machine working unit for the mine cars cleaning. B. I. 1976, N. 42.
18. **Nechepurenko M. S., Reznikov I. G., Opryshko V. A.** i dr. A. s. 1315622 (USSR). Equipment for the mine cars cleaning. B. I. 1987, N. 21.
19. **Mamontov N. L., Habibullin B. V., Ljapcev S. A.** i dr. A. s. 2001708 (USSR). Device for tanks cleaning. B. I. 1993, N. 39—40.
20. **Kritov A. I., Ugnivenko A. A., Losev M. D.** A. s. 281523 (USSR). Device for the mine cars with doorless body cleaning. B. I. 1970, N. 29.
21. **Aksenov G. G., Chub V. F.** A. s. 567821 (USSR). Equipment for the mine cars cleaning. B. I. 1977, N. 29.
22. **Chub V. F., Aksenov G. G.** A. s. 583320 (USSR). Equipment for the mine cars cleaning. B. I. 1977, N. 45.
23. **Podoprighora Ju. A., Seroshan V. I., Shkonda V. V.** i dr. A. s. 472874 (USSR). Equipment for the conveyor belt cleaning. B. I. 1975, N. 21.
24. **Reznikov I. M., Dorenskaja I. S.** A. s. 307027 (USSR). Equipment for the conveyor belt cleaning from the slied particles of the transported material. B. I. 1971, N. 20.
25. **Avaliani N. M., Kazenov V. M., Kishenskij V. H.** i dr. A. s. 326303 (USSR). Grab. B. I., 1972, N. 4.
26. **Mahatadze V. S., Gugunishvili A. N.** A. s. 1100165 (USSR). Equipment for the mine cars cleaning. B. I. 1984, N. 24.
27. **Nikishichev D. B.** Pat. № 2433080 (RF). Equipment for the frozen-on loose load discharging from the railroad hatch open waggons. 10.11.2011.
28. **Palant G. Ja.** A. s. 116840 (USSR). Equipment for the mine cars vibration cleaning.
29. **Omelchenko A. P., Pshenichnyj V. N.** A. s. 264219 (USSR). Equipment for the compressed air supply to the pneumovibrators of the round car dumper. B. I. 1970, N. 8.
30. **Omelchenko A. P., Pshenichnyj V. N.** A. s. 276880 (USSR). Equipment for the mine cars cleaning. B. I. 1970, N. 24.
31. **Shatalov A. G.** A. s. 1393737 (USSR). Equipment for the mine cars cleaning. B. I. 1988, N. 17.
32. **Galinskas A. V., Ragulskis K. M., Shevchuk M. A.** i dr. A. s. 442972 (USSR). Conveyor belt cleaning method. B. I. 1974, N. 34.
33. **Petrenko P. I., Petrenko V. P.** Patent 2009087 (RF). Method of the conveyor belt vibration cleaning and the functional equipment. 1994.
34. **Moskvichev O. V., Smorshhkova K. Je., Bulatov A. A., Suetin V. V.** Patent 2395444 (RF). Device for the frozen-on load heating in the cars. 27.07.2010.
35. **Baskov G. M.** Equipment for the excavator bucket cleaning. *Mining journal.* 1962. N. 12. P. 59—60.
36. **Mendruh N. V.** A. c. 1323666 (USSR). Excavator bucket. 1987, N. 26.
37. **Elmakov V. D., Maslennikov N. R., Zaharov A. Ju.** i dr. A. s. 1364571 (USSR). Equipment for the conveyor belt cleaning. B. I. 1988, N. 1.
38. **Matuev P. B., Matuev B. A.** Patent 2013332 (RF). Cleaning method of the conveyor idle belt branch. 1994.
39. **Kuzminskij V. P., Ostapenko A. A., Ratushnyj A. F.** i dr. A. s. 1155533 (USSR). Equipment for the conveyor belt drying. B. I. 1985, N. 18.
40. **Nemchenko A. A., Sailinov L. K., Gnedova E. M.** A. s. 901189 (USSR). Equipment for the conveyor belt drying. B. I. 1982, N. 4.
41. **Kuzminov K. V.** A. s. 232817 (USSR). Method of the conveyor belt cleaning from the sticked particles of the transported material. B. I. 1968, N. 1.
42. **Sharlaimov V. I., Bogdanova N. A., Nogaeva L. V.** Patent 2448030 (RF). Discharging method of the frozen-on coal. 2010.
43. **Nohrin E. G., Kohan V. V.** A. s. 1033404 (USSR). Equipment for the conveyor belt cleaning. B. I. 1983, N. 29.
44. **Dmitriev A. P., Derbenev L. S., Goncharov S. A.** i dr. A. s. 443076 (USSR). Method of conveyor belt cleaning. B. I. 1974, N. 23.
45. **Sergeev V. V., Marzoev T. F.** Patent 2506217 (RF). Equipment for the conveyor belt cleaning. 2014, N. 4.
46. **Vasilev V. T., Lizunov K. D., Prib Je. Je., Dudukin V. K.** A. s. 503757 (USSR). Equipment for the mine cars cleaning with electroosmosis. B. I. 1976, N. 7.
47. **Kazakov A. N., Voronenko V. K., Kazakov N. I.** i dr. A. s. 900038 (USSR). Equipment for the mine cars cleaning. B. I. 1982, N. 3.
48. **Kazakov A. N., Kazakov N. I.** A. s. 1536024 (USSR). Equipment for the mine cars cleaning. B. I. 1990, N. 2.
49. **Olefirenko V. N.** A. s. 1081043 (USSR). Mine car. B. I. 1984, N. 11.
50. **Tarasov Ju. D.** Patent 2478504 (RF). Mine car for the sticking ore mass transportation. 2011.
51. **Ljashenko A. Ju.** *Excavator bucket working units modification bottom in the form of the roll surface:* Avtoref. dis. ... kand. nauk. Novochebassk, 2013.
52. **Dunaevskaja M. P.** *Development and presentation of the effective protection means for the transport and loading equipment tanks from the ore mass sticking and freezing-on:* Avtoref. dis. ... kand. nauk. M., 1984. 255 p.
53. **Poturaev V. N., Dyrda V. I., Koval A. V.** i dr. A. s. 1063675 (USSR). Mine car. B. I. 1983, N. 48.
54. **Pat. US 5312162 A,** Particulate handlers.
55. **Sergeev V. V., Kusov Z. M.** Patent 2503563 (RF). A device for the transported material sticking prevention on the car bottom (variants). 2014, N. 1.
56. **Burakov V. A.** *Flexible covers use in transport.* M.: Transport, 1974. 128 p.
57. **Fursov E. G., Djudin Ju. K., Sadykov G. R.** i dr. Patent 2293702 (RF). Skip device for the inclined elevation. 2007.
58. **Ospovat F. M.** A. s. 207954 (USSR). Railroad car of "Khopper" type. 1967, N. 3.
59. **Shimolin N. L., Berezin A. S.** A. s. 1164122 (USSR). Mine car body. B. I. 1985, N. 24.
60. **Shabalin V. F., Djakov S. P., Atlanderov V. I.** Patent 95106240 (RF). Device for the cars cleaning from the sticked or frozen-on loose material. 1996.

УДК 621.313

В. Ф. Кузнецов, канд. техн. наук, доц., НИТУ "МИСиС", г. Москва

E-mail: mggu_at@mail.ru

Моделирование полюсного и якорного управления многодвигательным электроприводом механизма поворота экскаватора-драглайна

Приведены математические модели для исследования процессов в электромеханической системе "многодвигательный электропривод — валопроводы редуктора с кинематическими зазорами привода поворота шагающего экскаватора". Предложен электрический способ уменьшения динамических нагрузок в электроприводе поворота, в котором якорные цепи двигателей соединены в две последовательно-параллельные ветви. Для выравнивания якорных токов в параллельных ветвях используется совместное якорное и полюсное управление двигателями.

Созданы математические модели управляемого электропривода механизма поворота мощного шагающего экскаватора ЭШ-15/90 с четырьмя последовательно и последовательно-параллельно соединенными двигателями постоянного тока с независимым возбуждением, управляемыми по схеме "генератор—двигатель" и по схеме "тиристорный преобразователь—двигатель". Результаты моделирования показали возможность эффективного снижения динамических нагрузок в валопроводах многодвигательного механизма поворота шагающих экскаваторов.

Ключевые слова: полюсное и якорное управление, многодвигательный электропривод, механизм поворота, шагающий экскаватор, математическая модель

При последовательном соединении двигателей постоянного тока в электроприводе шагающих экскаваторов демпфирующая способность электропривода значительно уменьшается вследствие того, что система управления электроприводом способна демпфировать только сумму колебательных составляющих динамических нагрузок в валопроводах редукторов поворота. Вследствие этого в валопроводах редукторов, имеющих кинематические зазоры, могут возникать значительные динамические нагрузки, значительно превышающие динамические нагрузки в однодвигательном электроприводе [1]. Величина указанных динамических нагрузок может возрастать с увеличением числа последовательно соединенных двигателей.

Для решения задачи снижения динамических нагрузок в валопроводах редукторов механизма поворота многодвигательной электромеханической системы поворота шагающего экскаватора могут быть использованы как электрические, так и механические способы. В качестве одного из механических способов успешно использовалось введение дополнительных упруго-демпфирующих звеньев (кольцевых пружин) в кинематическую цепь каж-

дого из редукторов механизма поворота экскаватора ЭШ-15/90 Б.

Одним из электрических способов уменьшения динамических нагрузок в четырехдвигательном электроприводе поворота шагающего экскаватора является переход от последовательного соединения двигателей к их последовательно-параллельному соединению, при котором якорные цепи четырех двигателей соединяются в две параллельные ветви, каждая из которых содержит по два последовательно соединенных двигателя [2]. Для выравнивания якорных токов в этих параллельных ветвях может быть использовано совместное якорное и полюсное управление двигателями постоянного тока независимого возбуждения. Электрическая схема, математическое описание и результаты аналогового моделирования совместного якорного и полюсного управления электроприводом, управляемым по схеме генератор—двигатель, при последовательно-параллельной схеме соединения двигателей рассмотрены в [2]; при этом для управления потоками возбуждения двигателей использовались магнитные усилители, на обмотки управления которых подавалось напряжение, про-

порциональные разности токов в параллельных ветвях силовой цепи. Исследование проводилось при допущении об идентичной работе последовательно соединенных двигателей в каждой из параллельных ветвей якорной цепи, что эквивалентно схеме с параллельным соединением двигателей.

Система *Matlab* позволяет более детально по сравнению с аналоговым способом моделирования исследовать возможности схемы с последовательно-параллельным соединением двигателей и с питанием параллельно соединенных ветвей силовой цепи от одного тиристорного преобразователя. В том числе решить вопросы о выравнивании токов в параллельных ветвях силовой цепи и о возможности увеличения степени демпфирования колебаний в каждом отдельном валопроводе с помощью использования дополнительного полюсного управления каждым отдельным двигателем. Построение математической модели и схемы моделирования выполняется в несколько этапов, с постепенным усложнением задач, решаемых на каждом последующем этапе. На первом этапе создается модель отдельного двигателя постоянного тока независимого возбуждения с совместным якорным и полюсным управлением. Такой способ построения модели исследуемого объекта можно назвать модульным.

Для двигателя постоянного тока с независимым возбуждением исходные уравнения для установившегося режима работы имеют вид

$$\begin{aligned} U &= IR + k_e \Phi \omega; \\ k_m \Phi I &= M_C, \end{aligned} \quad (1)$$

где Φ — магнитный поток машины, Вб; U — якорное напряжение, В; I — ток якорной цепи, А; R — сопротивление якорной цепи, Ом; k_e, k_m — первая и вторая конструктивные постоянные двигателя; $k_e \Phi \omega = E_{дв}$ — противоЭДС двигателя, В; ω — скорость вращения ротора двигателя, c^{-1} ; $k_m \Phi I = M$ — электромагнитный момент двигателя, Н · м; M_C — момент нагрузки, Н · м.

Полагая, что магнитный поток Φ прямо пропорционален напряжению возбуждения двигателя U_B с коэффициентом пропорциональности k_Φ , запишем исходные уравнения двигателя (1) в виде уравнений

$$\begin{aligned} U &= IR + k_e k_\Phi U_B \omega; \\ k_m k_\Phi U_B I &= M_C. \end{aligned} \quad (2)$$

Выразив ток I из первого уравнения (2) и подставив его во второе уравнение, получаем единое уравнение двигателя для установившегося режима работы при полюсном управлении, определяющее

зависимость управляемой величины ω от управляющего воздействия U_B и момента нагрузки M_C :

$$\begin{aligned} \omega &= \frac{U}{k_e k_\Phi U_B} - \frac{R}{k_e k_m k_\Phi^2 U_B^2} M_C = \frac{k_D}{U_B} - \frac{k'_D}{U_B^2} M_C = \\ &= \omega_0 - \Delta\omega, \end{aligned} \quad (3)$$

где $k_D = \frac{U}{k_e k_\Phi}$ — коэффициент передачи двигателя по

управляющему воздействию, $c^{-1}/В$; $k'_D = \frac{R}{k_e k_m k_\Phi^2}$ —

коэффициент передачи двигателя по нагрузке,

$c^{-1}/(Н \cdot м)$; $\omega_0 = \frac{k_D}{U_B}$ — скорость идеального (без

учета сил трения) холостого хода двигателя, c^{-1} ;

$\Delta\omega = \frac{k'_D}{U_B^2} M_C$ — падение скорости двигателя под на-

грузкой, c^{-1} .

Перечисленные компоненты формулы (3), как показано далее, используются для моделирования установившихся процессов (например, для построения механических и регулировочных характеристик), а также для верификации результатов моделирования динамических процессов в электроприводе на последующих, более сложных этапах исследования.

Моделируемый в данной работе электропривод механизма поворота экскаватора ЭШ-15/90 включает в себя четыре последовательно соединенных двигателя постоянного тока с независимым возбуждением, управляемых по схеме "тиристорный преобразователь—двигатель". Технические данные двигателей [1], взятые из заводской технической документации для научно-исследовательских работ, выполнявшихся Московским государственным горным институтом по договорам с УЗТМ (Уральским заводом тяжелого машиностроения), приведены ниже:

J — момент инерции ротора двигателя, $кг \cdot м^2$	78
U — напряжение якорной цепи одного двигателя, В	225
$I_{ном}$ — номинальный ток якорной цепи, А	1030
ΔU — падение напряжения на щеточном контакте, В	2
$\omega_{ном}$ — номинальная частота вращения, $мин^{-1} (c^{-1})$	460 (48,2)
$\Phi_{ном}$ — номинальное значение магнитного потока, Вб	0,09
R — сопротивление якорной цепи одного двигателя, Ом	0,012
U_B — напряжение возбуждения двигателя, В	91
$I_{в ном}$ — номинальный ток обмотки возбуждения, А	17,8
w — число витков обмотки возбуждения	2600
R_B — сопротивление обмотки возбуждения, Ом	5,1

Основным способом управления электроприводом системы поворота является якорное управление. Полюсное управление, обладающее большей инерционностью, может использоваться для дополнительных целей, например, для выравнивания токов в параллельных ветвях силовой цепи при последовательно-параллельном соединении двигателей.

Согласно техническим данным параметры уравнений двигателя поворота при полюсном управлении принимают значения

$$k_e = \frac{U_{\text{НОМ}} - I_{\text{НОМ}} R_{\text{ДВ}}}{\omega \Phi} = 49; C_e = k_e \Phi = 4,41 \text{ Вс};$$

$$k_{\Phi} = 0,000989 \text{ Вб/В}.$$

При $U = U_{\text{НОМ}} = 225 \text{ В}$:

$$M_C = M_{\text{НОМ}} = k_m \Phi I_{\text{НОМ}} = 4540 \text{ Н} \cdot \text{м}; k_d = 4643 \text{ с}^{-1}/\text{В};$$

$$k'_d = 5,11 \text{ с}^{-1}/(\text{Н} \cdot \text{м}); \omega_0 = 51,02 \text{ с}^{-1}; \Delta\omega = 2,8 \text{ с}^{-1};$$

номинальная скорость двигателя $\omega_{\text{НОМ}} = \omega_0 - \Delta\omega = 48,2 \text{ с}^{-1}$.

Подставляя приведенные числовые данные в единое уравнение двигателя при полюсном управлении (3), получаем при $U = 225 \text{ В}$

$$\omega = \frac{4643}{U_B} - \frac{5,11}{U_B^2} M_C,$$

а при изменяющемся якорном напряжении

$$\omega = \frac{20,63 U}{U_B} - \frac{5,11}{U_B^2} M_C. \quad (4)$$

Приведенным расчетным данным соответствует структурная схема модели двигателя для установившегося процесса, представленная на рис. 1. На дисплеях показаны вычисленные выше: скорость идеального холостого хода $\omega_0 = 51,02 \text{ с}^{-1}$, падение скорости под номинальным моментом нагрузки $\Delta\omega = 2,802 \text{ с}^{-1}$, номинальная скорость двигателя $\omega_{\text{НОМ}} = 48,22 \text{ с}^{-1}$. Входные величины схемы: коэффициент передачи двигателя по управляющему воздействию $k_d = 4643$, коэффициент передачи двигателя по нагрузке $k'_d = 5,11$, номинальный момент нагрузки $4540 \text{ Н} \cdot \text{м}$. Блок Product1 используется в качестве квадратора.

Для исследования динамического режима работы с учетом электромеханической и электромагнитной инерционностей двигателя и электромагнитной инерционности его цепи возбуждения используется

метод непосредственного интегрирования исходных уравнений двигателя, имеющих вид

$$U = IR + L \frac{dI}{dt} + k_e \Phi \omega;$$

$$J \frac{d\omega}{dt} + k_m \Phi I - M_C;$$

$$U_B = \frac{\Phi}{k_B} R_B + w \frac{d\Phi}{dt},$$

где $L = 0,01 \text{ Гн}$ — индуктивность якорной цепи двигателя; $J = 78 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ — момент инерции ротора

двигателя; $k_B = \frac{\Phi_{\text{НОМ}}}{I_{\text{ВНОМ}}}$; $\frac{1}{k_B} = \frac{I_{\text{ВНОМ}}}{\Phi_{\text{НОМ}}} = 198$ — коэф-

фициент пропорциональности между током возбуждения I_B и потоком Φ , А/Вб.

Числовая форма уравнений (5) имеет вид

$$255 = 0,012I + 0,01 \frac{dI}{dt} + 49\Phi\omega;$$

$$78 \frac{d\omega}{dt} = 49\Phi I - M_C;$$

$$U_B = 1009,8\Phi + 2600 \frac{d\Phi}{dt}.$$

Для математического описания динамических режимов работы четырехдвигательной электромеханической системы механизма поворота в предположении: идентичности последовательно соединенных двигателей, абсолютно жесткого валопровода механизма, с учетом только электромеханической инерционности двигателя и электромагнитной инерционности его цепи возбуждения, следует

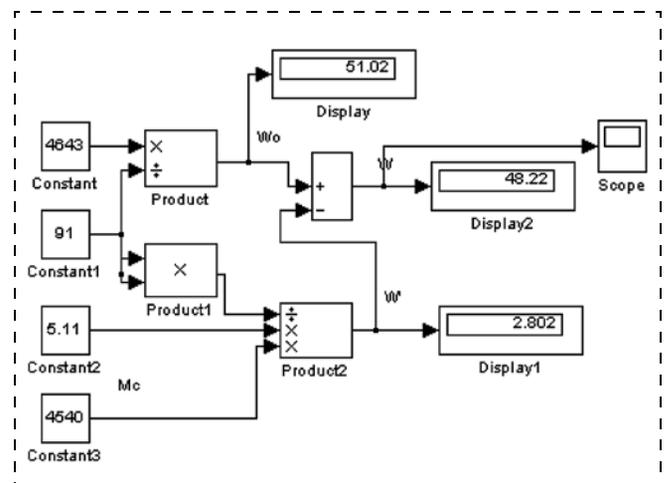


Рис. 1. Модель двигателя постоянного тока при полюсном управлении

использовать метод непосредственного интегрирования исходных уравнений электромеханической системы, которые имеют вид [1]:

$$\left[4J + \frac{J_{\text{ЭКС}}}{(1 - \rho_{\text{Мех}})^2} \right] \frac{d^2 \varphi_{\text{ДВ}}}{dt^2} = 4k_m \Phi I - 4M_{\text{НОМ}}; \quad (7)$$

$$U_{\Sigma} = IR_{\Sigma} + 4k_e \Phi \frac{d\varphi_{\text{ДВ}}}{dt};$$

$$U_B = \frac{\Phi}{k_B} R_B + w \frac{d\Phi}{dt},$$

где $\varphi_{\text{ДВ}}$ — угол поворота ротора двигателя; $J_{\text{пр}} = 4J + \frac{J_{\text{ЭКС}}}{(1 - \rho_{\text{Мех}})^2}$ — приведенный к валу двигателя мо-

мент инерции системы, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$; $J_{\text{ЭКС}}$ — момент инерции поворотной платформы экскаватора, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$; $\rho_{\text{Мех}}$ — передаточное число механизма поворота.

Математическое описание системы при идентичной работе двигателей и при учете обеих инерционностей якорной цепи и электромагнитной инерционности обмоток возбуждения двигателей имеет вид

$$J_{\text{пр}} \frac{d\omega}{dt} = k_m \Phi I - 4M_{\text{НОМ}};$$

$$U_{\Sigma} = IR_{\Sigma} + L_{\Sigma} \frac{dI}{dt} + 4k_e \Phi \omega;$$

$$U_B = \frac{\Phi}{k_B} R_B + w \frac{d\Phi}{dt}, \quad (8)$$

где L_{Σ} — суммарная индуктивность силовой цепи электрических машин, Гн; R_{Σ} — суммарное активное сопротивление силовой цепи электрических машин, Ом; $\omega = \frac{d\varphi_{\text{ДВ}}}{dt}$ — скорость двигателей, с^{-1} .

Числовая форма уравнений (8) принимает вид

$$936 = 0,0831I + 0,045 \frac{dI}{dt} + 4 \cdot 49\Phi\omega;$$

$$4242 \frac{d\omega}{dt} = 49\Phi I - 18184; \quad (9)$$

$$U_B = 1009,8\Phi + 2600 \frac{d\Phi}{dt}.$$

Выделив в каждом уравнении (9) старшую производную, получаем уравнения, которым соот-

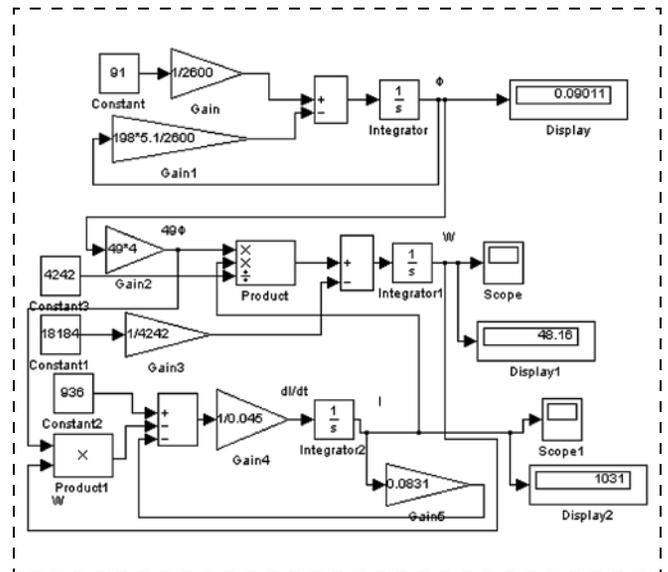


Рис. 2. Математическая модель четырехдвигательной электромеханической системы механизма поворота

ветствует структурная схема решения, представленная на рис. 2:

$$\frac{d\Phi}{dt} = \frac{U_B}{2600} - \frac{1009,8}{2600} \Phi;$$

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{49}{4242} \Phi I - \frac{1}{4242} 18184; \quad (10)$$

$$\frac{dI}{dt} = \frac{936 - 0,0831I - 4 \cdot 49\Phi\omega}{0,045}.$$

Установившиеся значения переменных Φ , I и $\omega = \frac{d\varphi_{\text{ДВ}}}{dt}$, полученные на дисплеях, соответствуют данным, отображенным на дисплеях (см. рис. 1), что позволяет верифицировать результаты моделирования динамических процессов в электроприводе и перейти к следующему этапу исследований.

На этапе моделирования динамических процессов в разомкнутой нелинейной системе при идентичной работе двигателей и выполняется проверка установившихся значений наблюдаемых переменных. Якорное управление электроприводом осуществляется по схеме "тиристорный преобразователь—двигатель" с суммирующим усилителем. Учитываются нелинейность характеристики преобразователя, приведенной в [1], и нелинейность, вносимая кинематическими зазорами в валопроводе механизма поворота.

Математическая модель системы, учитывающая указанные нелинейности, имеет вид

$$\begin{aligned}
 U_B &= \frac{\Phi}{k_B} R_B + w \frac{d\Phi}{dt}; \\
 AW_0 &= f^{-1}(E_T) + \frac{T_T}{k^*} \frac{dE_T}{dt}; \\
 E_T &= IR_\Sigma + L_\Sigma \frac{dI}{dt} + 4k_e \Phi \omega; \\
 J_{дв} \frac{d^2 \varphi_{дв}}{dt^2} &= k_M \Phi I - k_{ред} \alpha - \beta_{ред} \frac{d\alpha}{dt}; \\
 J_{экс} \frac{d^2 \psi}{dt^2} &= 4(1 - \rho_{мех}) k_{ред} \alpha + \\
 &+ 4\beta_{ред} (1 - \rho_{мех}) \frac{d\alpha}{dt} - 4(1 - \rho_{мех}) M_{ном}; \\
 \alpha &= \varphi_{дв} - (1 - \rho_{мех}) \psi \mp \delta,
 \end{aligned} \tag{11}$$

где α — приведенный к валу двигателя угол деформации валопровода, рад; ψ — угол поворота поворотной платформы, рад; $k_{ред}$ — приведенная к валу двигателя жесткость валопровода, Н·м/рад; $\beta_{ред}$ — приведенный к валу двигателя коэффициент вязкого трения в валопровode, Н·м/с⁻¹; δ — суммарный кинематический зазор в валопровode, рад; AW_0 — задающий сигнал тиристорного преобразователя, Ав; T_T — постоянная времени тиристорного преобразователя, с; k^* — коэффициент передачи тиристорного преобразователя, В/Ав.

Модель замкнутой системы с суммирующим усилителем, в которой экскаваторная механическая характеристика формируется двумя жесткими отрицательными обратными связями: по скорости двигателей и току главной цепи с отсечкой $I_{отс}$ и гибкой отрицательной обратной связью по производной от тока главной цепи, получается из предыдущей математической модели системы добавлением уравнения суммы управляющих сигналов на входе суммирующего элемента схемы управления

$$\begin{aligned}
 AW_{рез} &= AW_3 - AW_{ос} - AW_{тж} - AW_{тг} = \\
 &= AW_3 \left(1 + k_T k_D \frac{k_{ос}}{k_{ав}} \right) - k_{ос} \frac{d\varphi_{дв}}{dt} - k_{тж} (I \mp I_{отс}) - k_{тг} \frac{dI}{dt}; \\
 AW_{рез} &= f^{-1}(E_T) + \frac{T_T}{k^*} \frac{dE_T}{dt},
 \end{aligned} \tag{12}$$

где $AW_{рез}$, AW_3 — результирующий и задающий управляющие сигналы преобразователя; $AW_{ос}$,

$AW_{тж}$, $AW_{тг}$ — сигналы, создаваемые отрицательными обратными связями по скорости двигателя, по току якорной цепи с отсечкой, по производной от тока I ; $k_{ос}$, $k_{тж}$, $k_{тг}$ — коэффициенты передачи цепей обратной связи; $k_{ав}$ — коэффициент преобразования напряжений в ампервитки суммирующего устройства тиристорного преобразователя.

Числовая форма полной системы уравнений имеет вид [1]

$$\begin{aligned}
 AW_{рез} &= 269,946 - 2,2 \frac{d\varphi_{дв}}{dt} - 1,5(I \mp 1800) - 0,1 \frac{dI}{dt}; \\
 AW_{рез} &= f^{-1}(E_T) + \frac{0,05}{4} \frac{dE_T}{dt}; \\
 U_B &= 1009,8\Phi + 2600 \frac{d\Phi}{dt}; \\
 E_T &= 0,083I + 0,045 \frac{dI}{dt} + 4 \cdot 49\Phi \frac{d\varphi_{дв}}{dt}; \\
 78 \frac{d^2 \varphi_{дв}}{dt^2} &= 49\Phi I - 36 \cdot 260\alpha - 64 \frac{d\alpha}{dt}; \\
 601 \cdot 10^6 \frac{d^2 \varphi_{дв}}{dt^2} &= \\
 &= 4 \cdot 391 \left(36 \cdot 260\alpha + 64 \frac{d\alpha}{dt} - 4,414 \cdot 1030 \right); \\
 \alpha &= \varphi_{дв} - 391\psi \mp \delta,
 \end{aligned} \tag{13}$$

где $I_{отс} = 1800$ А; $\delta = 0,2$ рад; $k_{ос} = 2,2$; $k_{тж} = 1,5$; $k_{тг} = 0,01$; $k_{ав} = 10$.

Представленные выше модули математического описания и модели установившихся и динамических процессов в многодвигательном электроприводе экскаватора являются основой для исследования возможностей совместного якорного и полюсного управления двигателями поворота для решения задач снижения динамических нагрузок в валопровode механизма поворота шагающих экскаваторов.

Список литературы

1. Кузнецов В. Ф. Электромеханические системы. Примеры исследования с использованием программы *Matlab*. М.: МГГУ, 2008.
2. Кузнецов В. Ф., Потапов В. Д. Динамические нагрузки в многодвигательном приводе поворота экскаваторов с параллельным соединением двигателей // Известия вузов. Горный журнал. 1973. № 8.

V. F. Kuznetsov, Associate Professor,
National University of Science and Technology "MISiS", Moscow

E-mail: mggu_at@mail.ru

Modelling of Polar and Armature Control for Multiengine Electrodrive Machinery Excavator Dragline Rotation

In the article adduced mathematical models aimed for exploring processes in the electro-mechanical "multiengine drive system — reduction gear shafting with kinematical gaps of walking excavator drive system". Suggested electrical way to decrease useful pay load of electro-engine rotation drive system, in which anchor engine circuit connected in two parallel-consecutive brunches. Adjusting anchor circuits in parallel brunches is made with using in combine anchor & polar engine control.

Mathematical models were created for controlled electro-engine rotation drive system for powerful walking excavator ЭИИ.15/90 with four parallel-consecutive connected constant current engines with separate excitation, controlled with scheme "engine—generator" & with scheme "thyristor transformer—engine". The results of modeling shown effective increasing of dynamical pay loads in reduction gear shafting of multiengine machinery for walking excavator rotation.

Keywords: polar & anchor control, multiengine electro driving system, rotation machinery, walking excavator, mathematical model

References

1. **Kuznetsov V. F.** *Jelektromehaničeskie sistemy. Primery issledovanija s ispol'zovanijem programmy Matlab.* M.: MGGU, 2008.

2. **Kuznetsov V. F., Potapov V. D.** Dinamicheskie nagruzki v mnogodvigatel'nom privode povorota jekskavatorov s parallel'nym soedineniem dvigatelej. *Izvestija vuzov. Gornyj zhurnal.* 1973. N 8.

ufi
Approved
Event

miningworld
RUSSIA



21–23 апреля 2015

место проведения
Россия · Москва · Крокус Экспо

19-я Международная выставка и конференция «Горное оборудование, добыча и обогащение руд и минералов»



0+

Всегда в центре событий!

Организаторы:



Тел.: +7 (812) 380 60 16
Факс: +7 (812) 380 60 01
E-mail: mining@primexpo.ru



Забронируйте стенд!
www.miningworld-russia.ru

УДК 621.371.392

А. А. Хорешок, д-р техн. наук, проф., директор Горного института КузГТУ, г. Кемерово,

Е. Ю. Пудов, канд. техн. наук, доц., филиал КузГТУ, г. Прокопьевск

E-mail: pudov_evgen@mail.ru

Проектирование перспективного конструктивного исполнения ковша гидравлического экскаватора схемы "обратная лопата"

Рассмотрено предложение по изменению конструктивного исполнения ковша гидравлического экскаватора в целях улучшения его технических характеристик. Приведено обоснование преимуществ проектируемого исполнения, проведен прочностной расчет конструктивных элементов ковша.

Ключевые слова: гидравлический экскаватор, ковш, ремонт, изготовление, восстановление, надежность

1. Постановка задачи исследований

Интенсификация ведения добычи угля открытым способом, а также динамика и маневренность ведения строительных работ предопределили тенденцию к расширению парка гидравлических экскаваторов как в горно-добывающей промышленности, так и на строительных площадках. Возросший спрос на качественное и быстрое проведение работ предъявляет к экскавационной технике высокие требования по надежности, производительности и ряду других критериев.

Эти факторы и все возрастающие объемы вскрышных работ в горно-добывающей и строительной промышленности требуют от производителей создания высокоэффективной экскавационной техники и определяют новые задачи в области проектирования одноковшовых гидравлических экскаваторов, а также их рабочего оборудования, в частности — ковшей. Производителю необходимо обеспечить безотказную работу всех конструктивных элементов рабочего оборудования на протяжении как можно большего промежутка жизненного цикла экскаватора. Для решения данной задачи необходимо определить причины выхода из строя тех или иных элементов, результатом чего должны стать предложения по внесению изменений в конструкцию и параметры ее элементов еще на стадии проектирования. Параллельно с этим не менее важным остается вопрос минимизации энергозатрат при ведении экскавационных работ.

В горно-добывающей промышленности используются в основном гидравлические экскаваторы тяжелых и сверхтяжелых типоразмерных групп в связи со сложными эксплуатационными условиями.

При проектировании новых конструктивных исполнений ковшей экскаваторов возникает задача по доказательству их эффективности и преимуществ в сравнении с прототипами.

2. Описание алгоритма исследований

Рациональность значений расчетных параметров следует подтвердить экспериментальными данными на основе опытных испытаний. Авторами были получены наиболее рациональные угловые значения конструктивного исполнения ковша и его грунторазрушающих элементов, а также предложено перспективное конструктивное исполнение передней кромки ковша, способствующее улучшению прочностных характеристик [8].

Предполагается, что новое исполнение ковша экскаватора должно способствовать улучшению прочностных характеристик; уменьшению энергозатрат при ведении экскавационных работ.

Реализация первого пункта связана с уменьшением возникающих напряжений в конструктивных элементах ковша с использованием предлагаемой авторами методики расчета наиболее рациональных конструктивных параметров грунторазрушающих элементов.

Сокращение же энергозатрат при ведении экскавационных работ будет связано преимущественно с предлагаемым конструктивным исполнением передней кромки, которое позволит:

- уменьшить сопротивление грунту при зачерпывании;
- обеспечить плавное внедрение ковша в грунт;
- увеличить коэффициент наполняемости ковша.

В качестве алгоритма доказательства эффективности выберем следующую последовательность действий:

- выбор модели экскаватора для принятия его за прототип;
- создание действующего стенда на основе параметров рабочего оборудования прототипа;
- выполнение экспериментальных испытаний в различных режимах работы;
- проведение сравнительного анализа полученных результатов между представленными образцами макетов ковшей по основным технико-эксплуатационным показателям.

3. Выбор прототипа экскаватора для моделирования рабочего оборудования

В качестве прототипа выбран уже зарекомендовавший себя на открытых горных работах экскаватор фирмы "Komatsu".

Экскаватор Komatsu PC-3000 зарекомендовал себя как качественная, соответствующая тяжелым эксплуатационным условиям машина. Основные технические характеристики Komatsu PC-3000 представлены ниже, внешний вид — на рис. 1.

Технические характеристики экскаватора Komatsu PC-3000

Вместимость ковша, м ³	8,5
Максимальный радиус черпания, м	16,2
Максимальная высота черпания, м	14,2
Максимальная глубина черпания, м	7,8
Радиус вращения кузова, м	6,5
Длина гусеничного хода, м	7,91
Ширина гусеничного хода, м	5,6
Скорость передвижения, км/ч	2,3
Преодолеваемый уклон, °	37
Среднее удельное давление на грунт, кгс/см ²	2,3
Мощность двигателя, кВт (л. с.)	940 (1260)
Продолжительность цикла, с	22
Масса экскаватора с противовесом, т	253



Рис. 1. Внешний вид экскаватора Komatsu PC-3000

Для экспериментальных испытаний требуется на основе прототипа рабочего оборудования выбранной модели экскаватора [1] создать действующий стенд.

Задачей исследований является сравнение мощностей, затрачиваемых на экскавацию при различных конструктивных исполнениях макетов ковшей. Для изучения было принято крупномасштабное (1:10) моделирование, при котором более точно осуществляется воспроизводимость модели рабочего оборудования экскаватора с прототипа, упрощается механическая схема явлений, а также обеспечиваются наблюдение и регистрация интересующих характеристик процесса.

В связи с тем, что стенд должен имитировать только рабочее движение по внедрению ковша в грунт в зависимости от различных видов перемещений звеньев рабочего оборудования, достаточно знать только основные конструктивные параметры рабочего оборудования экскаватора-прототипа.

4. Описание модели рабочего оборудования

Для разработки действующего стенда рабочего оборудования экскаватора необходимо изготовить макеты ковшей стандартного и предлагаемого конструктивного исполнения с соблюдением точности основных конструктивных параметров, способных повлиять на результаты опытных испытаний. К подобным параметрам относятся основные габаритные размеры, присоединительные размеры, все угловые параметры грунторазрушающих элементов, геометрия зубьев. Для достижения требуемых результатов твердотельные компьютерные модели ковшей и зубьев изготавливались по заводским чертежам.

Во время экскавации основными движениями рабочего оборудования являются движения поворота ковша, поворот рукояти, а также совместное сложное перемещение на основе вращения звеньев. Далее в статье будут рассматриваться в качестве основных отдельные вращательные движения ковша. Твердотельная модель рабочего оборудования Komatsu PC-3000 представлена на рис. 2.

Основные угловые параметры, необходимые для расчетов и моделирования движений, показаны на рис. 3 — указаны максимальные углы раскрытия ковша относительно рукояти $\alpha_{23} = 150^\circ$, рукояти относительно стрелы $\alpha_{21} = 151,5^\circ$, а также рабочий угол стрелы относительно вертикали $\alpha_p = 87^\circ$, при котором будет происходить моделирование внедрения ковша в грунт.

Отличительной особенностью исходного образца ковша является то, что это исполнительный орган для тяжелых скальных условий работ, вместимостью "с шапкой" по стандарту ISO, равной $8,5 \text{ м}^3$ [1], с клиновидно выступающей передней кромкой, как показано на рис. 4. Отметим, что авторами была доказана перспективность округления профиля торца передней кромки во внутрь, которую стоит учесть в предлагаемом исполнении ковша [8].

Инженерно-технический состав и руководство предприятий, эксплуатирующих подобную технику, заинтересованы в том, чтобы минимизировать энергоемкость как Komatsu PC-3000, так и остального экскаваторного парка. Уже существует ряд разработок и внедрений по снижению энергоемкости экскаваторов, но связаны они прежде всего с энергоустановками, а не с рабочим оборудованием и его конструктивными особенностями. Именно это направление рассматривается в настоящей статье.

На продолжительность цикла и эксплуатационную производительность экскавационной техники напрямую влияет коэффициент наполняемости ковша при черпании. От того, насколько быстро произойдет заполнение ковша, будет зависеть продолжительность и траектория движения звеньев кинематической цепи рабочего оборудования экскаватора. Данный показатель так же требует определения зависимости от конструктивного исполнения.

5. Описание моделей ковшей стандартного и предлагаемого конструктивного исполнения

Для эксперимента были изготовлены макеты исходного (см. рис. 4) и предлагаемого (рис. 5) конструктивного исполнения ковшей, обладающие достаточной для получения адекватных результатов эксперимента точностью.

Внесение изменений в зарекомендовавшую конструкцию должно быть обосновано наличием весомых преимуществ, возникающих при эксплуатации изделия, достижение которых не связано с повышением себестоимости ковша, сложностью его конструкции.

С учетом вышеприведенных требований, а также анализа данных статистических исследований причин выхода из строя [9], моделирования напряженно-деформированных состояний ковшей [5–8] предлагается рассмотреть в качестве перспективных конструктивные исполнения ковшей, приведенные на рис. 6. За основу взята идея усиления передней кромки и днища ковша при помощи изменения конструкции и формы. Она заключается в увеличении жесткости за счет получения желобо-

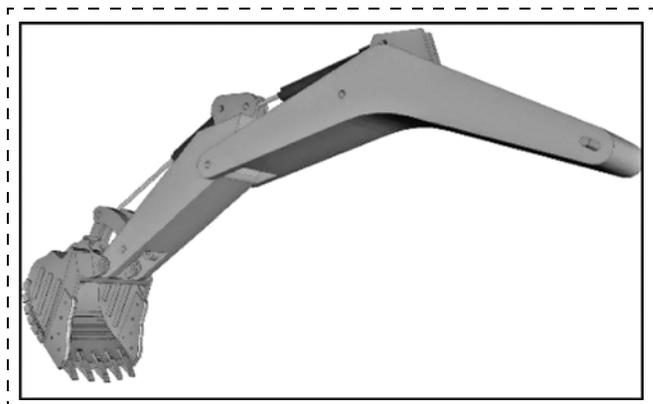


Рис. 2. Внешний вид рабочего оборудования экскаватора-прототипа

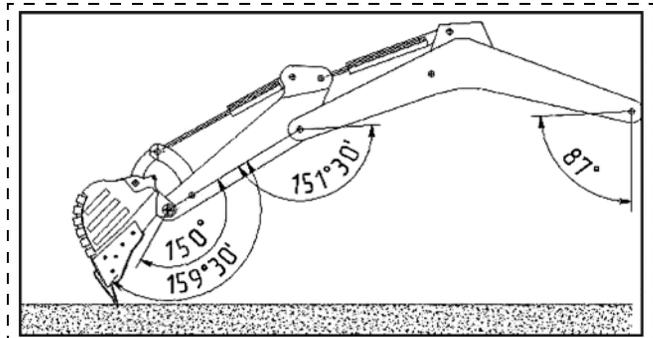


Рис. 3. Основные угловые параметры рабочего оборудования

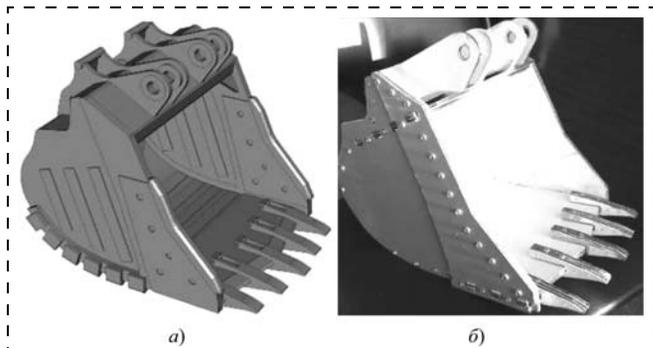


Рис. 4. Модели ковша экскаватора Komatsu PC-3000 исходного исполнения:

a — компьютерная твердотельная модель; *b* — реальная модель в масштабе 1:10

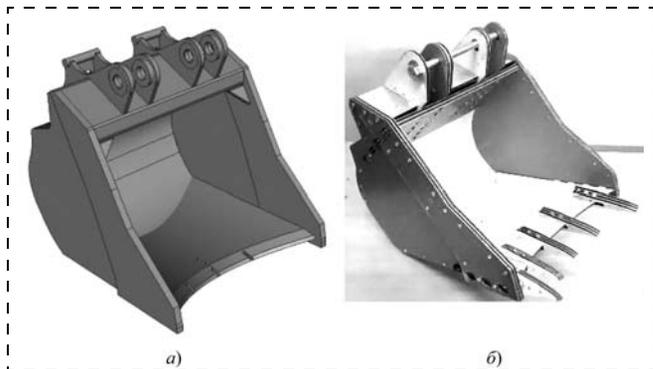


Рис. 5. Модели ковша экскаватора Komatsu PC-3000 предлагаемого исполнения:

a — компьютерная твердотельная модель; *b* — реальная модель в масштабе 1:10

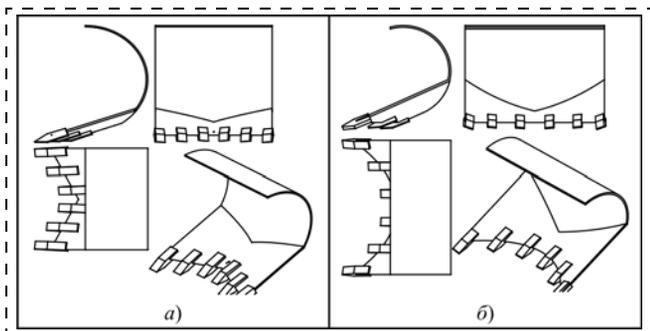


Рис. 6. Перспективные конструктивные решения для ковшей с разной формой сечения передней кромки:

a — клиновидная; *б* — радиально-изогнутая

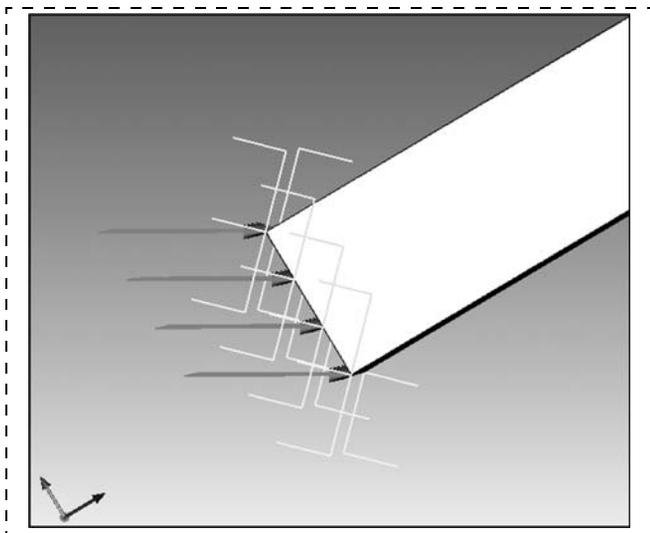


Рис. 7. Вид нагружения передней кромки

образного элемента передней кромки клиновидного (рис. 6, *a*) или радиально-изогнутого (см. рис. 6, *б*) сечения. Проведенный авторами прочностной анализ [12] доказал, что для дальнейшего рассмотрения в качестве перспективной следует рассматривать желобообразную конструкцию передней кромки радиально-изогнутого сечения. При этом следует соблюдать такой уровень расположения зубьев при предположительном положении ковша во время внедрения, при котором будет образовываться плоский срез (главный вид на рис. 7).

6. Обоснование преимуществ предлагаемого конструктивного исполнения ковша по технико-эксплуатационным показателям

В исследованиях авторов [11] обосновано преимущество радиально-изогнутой формы передней кромки с точки зрения прочностных показателей, поэтому принимаем ее для проектирования перспективного исполнения.

Для сравнения характеристик предлагаемых конструкций требуется проведение анализа, доказывающего наличие преимуществ по сравнению с исходным вариантом прототипа.

В качестве одного из весомых оснований, подтверждающих преимущество предлагаемого конструктивного исполнения, служит картина распределения напряжений в локально рассматриваемой передней кромке.

С этой целью было произведено нагружение (см. рис. 7) передних кромок равномерно распределенной силой $F = 30$ кН, приложенной к торцу передней кромки так, что угол между задней поверхностью передней кромки и направлением приложенной силы составляет 30° . Боковые и задние торцы при этом закреплены.

На рис. 8 приведены варианты конструктивных исполнений передней кромки, а на рис. 9—12 (см. 3-ю и 4-ю стр. обложки) — примеры моделирования напряженно-деформированных состояний исходного (прототипа) и предлагаемых вариантов. В данном расчете были приложены равнозначные значения параметров нагружения под углом 30° относительно плоскости передней кромки.

На рис. 13—15 показаны графики распределения расчетных эквивалентных напряжений в рассматриваемых вариантах конструктивных исполнений в зависимости от изменения угла наклона от 0 до 90° .

Полученные расчетные значения указывают на преимущества передней кромки, имеющей желобообразное радиальное сечение. Клиновидная форма желоба оказалась менее предпочтительной по

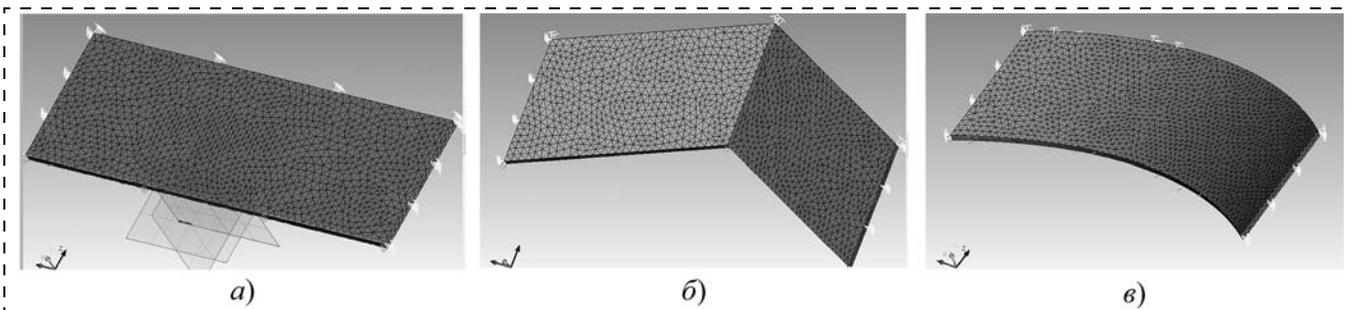


Рис. 8. Конструктивные исполнения передней кромки:

a — плоская (прототип); *б* — клиновидная; *в* — радиальная

причине возникновения концентраторов напряжений в местах углового перегиба. Однако оба предложенных конструктивных исполнения имеют преимущества с точки зрения меньших возникающих значений модуля перемещений по сравнению с плоской кромкой.

Первостепенным для расчета конструкции в данном случае будет являться угол γ внедрения исполнительного органа в грунт. В данном случае речь идет о том, чтобы компенсировать возникновение

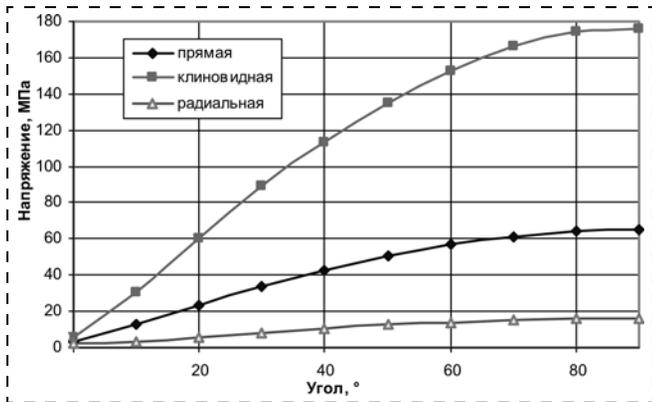


Рис. 13. Графики распределения эквивалентных напряжений в различных исполнениях передней кромки ковша

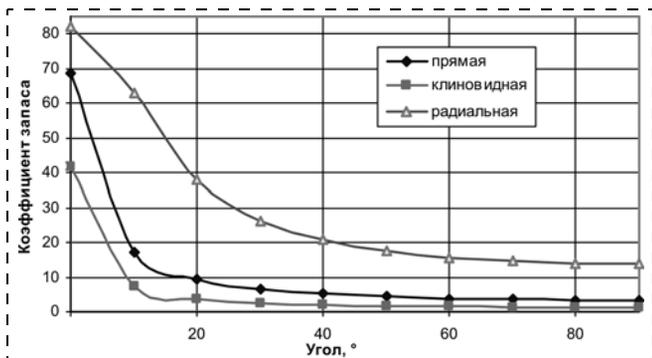


Рис. 14. Графики распределения коэффициентов запаса по эквивалентным напряжениям в различных исполнениях передней кромки ковша

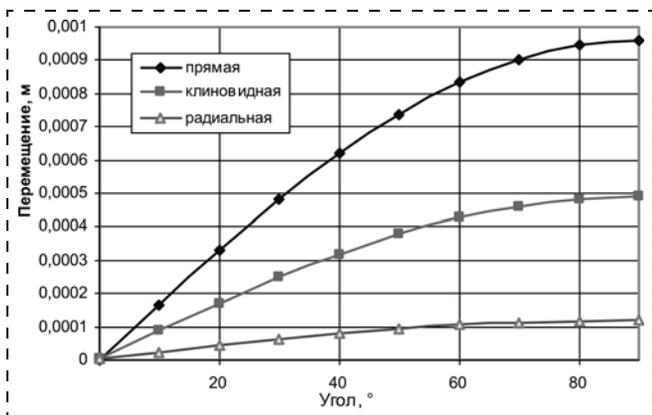


Рис. 15. Графики распределения модуля перемещений в различных исполнениях передней кромки ковша

нежелательных повышенных напряжений в момент внедрения в грунт за счет применения более жесткой конструкции передней кромки (рис. 16). Среди явных преимуществ предлагаемого исполнения можно выделить:

1. Криволинейная форма торцевой части передней кромки позволяет уменьшить площадь контакта при внедрении в грунт.

2. Радиально изогнутый профиль передней кромки служит в качестве ребра жесткости.

3. Сопряжение по криволинейному контуру передней кромки и задней стенки служит в качестве ребра жесткости.

4. Расчетное положение зубьев на передней кромке позволяет сохранять плоский срез на основе учета рабочих движений.

Исходя из результатов исследований прочностных характеристик предлагаемых конструктивных исполнений, а также рационального угла внедрения передней кромки в почву, определим принципиальные конструктивные параметры, способные повлиять на изменение наиболее значимой эксплуатационной характеристики ковша, такой как конструктивная жесткость.

На рис. 16 представлены следующие конструктивные параметры: $\gamma_{\text{пер.кр}}$ — угол между направлением вектора передней кромки и образующей желоба; исходя из возможности и рациональности конструктивного исполнения — от 5 до 45°; k_p — размерный коэффициент, выражающий отношение высоты $H_{\text{кр}}$ радиально-изогнутого желоба к его ширине $B_{\text{кр}}$; исходя из особенностей геометрии принимаем возможными значения от 0,05 до 0,5.

Расчетное направление оси передней кромки принимается в качестве значения конструктивно-

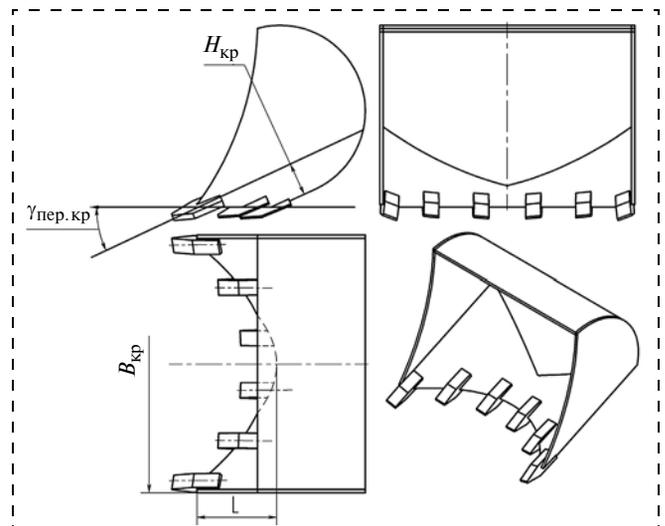


Рис. 16. Принципиальные конструктивные параметры предлагаемого решения

го параметра, обеспечивающего минимальные напряжения в исполнительном органе экскаватора и его элементах с учетом кинематической схемы рабочего оборудования экскаватора.

Исследованиями [10] установлено, что разрушение угля инструментом с задними углами менее $5...7^\circ$ сопровождается резким увеличением усилий резания (на $30...50\%$) и подачи (на $50...150\%$). При разрушении с малыми задними углами площадки износа развиваются более интенсивно, что, в свою очередь, вызывает еще более существенный рост нагрузок. Поэтому рекомендуется принимать значение заднего угла не менее 10° .

Влияние формы задней поверхности режущего элемента на силовые и энергетические показатели процесса резания исследовано недостаточно, а приводимые результаты противоречивы. Увеличение выпуклости по задней поверхности должно приводить к увеличению нагрузок вследствие уменьшения угла бокового развала и увеличения периметра контакта режущего элемента с массивом угля. Однако при этом уменьшается фактическая ширина режущей части, что приводит к снижению нагрузок [10].

В результате решающим при выборе значения угла $\gamma_{\text{пер.кр}}$ из возможных значений от 5 до 45° будет

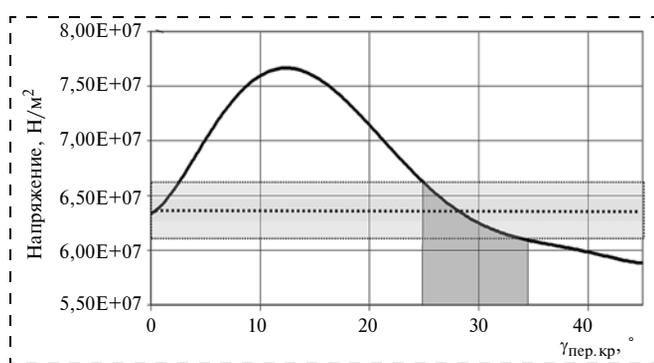


Рис. 17. Значения возникающих эквивалентных напряжений по Мизесу в зависимости от значений угла $\gamma_{\text{пер.кр}}$

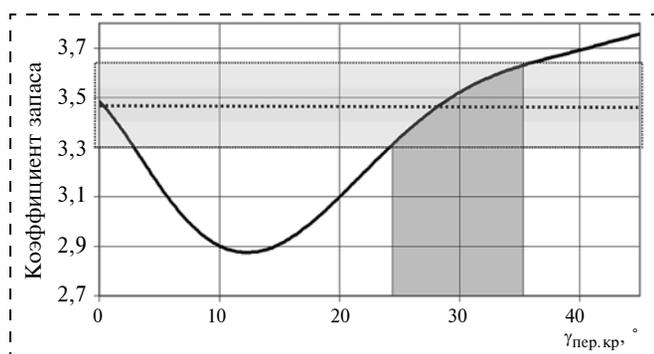


Рис. 18. Значения коэффициента запаса по эквивалентным напряжениям в зависимости от значений угла $\gamma_{\text{пер.кр}}$

являться его влияние на возникающие при внедрении нагрузки и усилия в конструкции ковша, в частности — в передней кромке. С одной стороны — уменьшение угла должно явно привести к уменьшению возникающих нагрузок, сил трения и т. д., с другой стороны — подобное уменьшение угла в совокупности с необходимостью оставлять неизменным соотношения параметра L и ширины передней кромки [12] влечет за собой и уменьшение значения параметра $H_{\text{кр}}$ [11].

Зависимость рассматриваемых параметров определяется формулой

$$L = H_{\text{кр}} \sqrt{1 + \text{tg}^2 \gamma_{\text{пер.кр}}}.$$

Значение $H_{\text{кр}}$ определяется формулой

$$H_{\text{кр}} = \frac{0,15B}{\sqrt{1 + \text{tg}^2 \gamma_{\text{пер.кр}}}}.$$

Применение нового конструктивного исполнения необходимо обосновать, выявив рациональные параметры с точки зрения прочностных характеристик.

Для проведения прочностного анализа с использованием метода конечных элементов была разработана параметрическая твердотельная модель передней кромки ковша. Исходными данными являются:

постоянное значение параметра L относительно ширины передней кромки $L = 0,15B_{\text{кр}}$;

постоянное значение толщины передней кромки относительно ширины передней кромки, равное $0,02B_{\text{кр}}$;

переменное значение угла $\gamma_{\text{пер.кр}}$ из возможных значений от 5 до 45° .

Нагрузки твердотельной модели передней кромки проводились по схеме, по которой нагрузка прикладывалась в виде равномерно распределенного по поверхности давления, равного 500 кН/м^2 .

В результате проведения анализа были получены следующие результаты возникающих эквивалентных напряжений (рис. 17), коэффициента запаса по эквивалентным напряжениям (рис. 18) и модуля перемещений (рис. 19). Совокупность этих показателей позволит нам убедительно говорить о выявленном интервале рациональных значений угла $\gamma_{\text{пер.кр}}$ с точки зрения прочностных характеристик передней кромки.

На полученных графиках отчетливо прослеживаются области исследуемых параметров с менее рациональными значениями. Если рассматривать в данном случае возможным и нулевое значение угла $\gamma_{\text{пер.кр}}$, то области наиболее рациональных значений рассматриваемого угла при условии до-

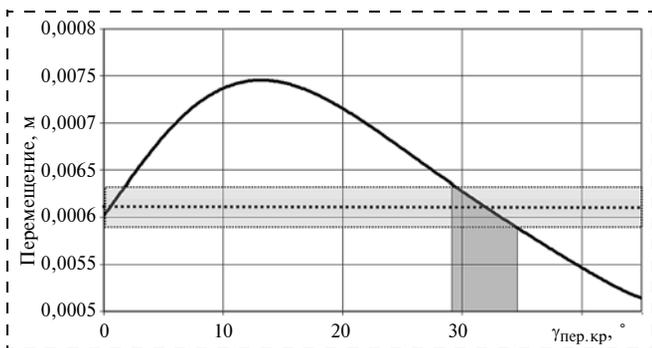


Рис. 19. Значения модуля перемещений в зависимости от значений угла $\gamma_{\text{пер.кр}}$

пустимого отклонения от первоначального значения, равного 5 % в положительном и отрицательном направлении (указаны на рис. 17–19 серой горизонтальной зоной), лежат в диапазоне $0...4^\circ$ и от 24° и выше (указаны на рис. 17–19 серой вертикальной зоной).

В случае с предлагаемым конструктивным исполнением наиболее целесообразно, согласно графикам (см. рис. 17–19), принять за рациональные значения параметра $\gamma_{\text{пер.кр}}$ в диапазоне $25...35^\circ$. Это обусловлено тем, что, несмотря на улучшение показателей жесткости конструктивного исполнения с дальнейшим увеличением угла $\gamma_{\text{пер.кр}}$, может в значительной степени возрастать сила трения вскрышных масс о переднюю кромку при зачерпывании, а в связи с этим возрастет величина фрикционного износа передней кромки и усилия копания.

Результаты проведенных анализов целесообразно использовать в дальнейшем для разработки конструктивного исполнения ковша экскаватора, учитывающего как применение выведенной методики по определению влияния кинематической схемы на получение наиболее рациональных конструктивных параметров [8, 11], так и внедрение перспективного конструктивного исполнения передней кромки желобообразной формы радиально-изогнутого сечения [11].

Список литературы

1. **Справочник** по техническим характеристикам и применению. KOMATSU. 24-е изд. Токио, Япония. 2003. 880 с.
2. **Esco corporation** [Электронный ресурс] / ESCO. Режим доступа <http://www.escocorp.com/index.html>, свободный. Загл. с экрана. Яз. англ.
3. **Беляков Ю. И.** Проектирование экскаваторных работ. М.: Недра, 1983. 225 с.
4. **Хорешок А. А.** Конструктивные и эксплуатационные особенности адаптерных узлов ковшей гидравлических экскаваторов / А. А. Хорешок, Е. Ю. Пудов, О. В. Любимов // Материалы Кит.-Рус. Форума "Без-

опасное производство, шахты и технологическое оборудование", Ляонинский технический университет (КНР), г. Фусинь, 2009. С. 36–38.

5. **Хорешок А. А.** О влиянии направления внешней нагрузки на напряженно-деформированное состояние адаптерного узла ковша экскаватора / А. А. Хорешок, Е. Ю. Пудов, О. В. Любимов // Инновационные технологии и экономика в машиностроении: тр. VII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Томск: Изд-во ТПУ, 2009. С. 657–659.

6. **Силютин С. М.** Влияние конструктивных особенностей адаптерных узлов на эксплуатационную надежность ковшей гидравлических экскаваторов / С. М. Силютин, А. А. Хорешок, Е. Ю. Пудов // Горное оборудование и электромеханика. 2009. № 5. С. 15–17.

7. **Хорешок А. А.** О влиянии направления внешней нагрузки на напряженно-деформированное состояние адаптерного узла ковша экскаватора / А. А. Хорешок, Е. Ю. Пудов, О. В. Любимов // Горное машиностроение: тр. 7 Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Отдельный выпуск Горного информационно-аналитического бюллетеня (научно-технический журнал) Mining Informational and analytical Bulletin (Scientific and technical journal). М.: Горн. кн., 2010. № ОВ3. С. 149–153.

8. **Хорешок А. А.** Перспектива проектирования и производства новых конструктивных исполнений ковшей с целью импортозамещения / А. А. Хорешок, Е. Ю. Пудов, Е. В. Прейс, Б. Л. Герике // Перспективы развития горно-транспортного оборудования: Сборник статей — 2012 г. Отдельный выпуск Горного информационно-аналитического бюллетеня (научно-технический журнал) Mining Informational and analytical bulletin (scientific and technical journal). М.: Горн. кн., 2012. № ОВ 2. С. 266–270.

9. **Хорешок А. А.** Статистический анализ изношенности ковшей малой и средней вместимости гидравлических экскаваторов / А. А. Хорешок, Е. Ю. Пудов, О. В. Любимов // Вестн. КузГТУ. 2010. № 5 (81). С. 86–89.

10. **Сафохин М. С.** Горные машины и оборудование: учеб. для вузов / М. С. Сафохин, Б. А. Александров, В. И. Нестеров. М.: Недра, 1995. 463 с.

11. **Пудов Е. Ю.** Определение рациональных параметров грунторазрушающих элементов ковшей гидравлических экскаваторов: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.06; [Место защиты: Куз. гос. тех. ун-т им. Т. Ф. Горбачева] Кемерово, 2012. 155 с.

12. **Хорешок А. А.** Проектирование и производство новых конструктивных исполнений ковшей гидравлических экскаваторов / А. А. Хорешок, Е. Ю. Пудов // Э65 Энергетическая безопасность России. Новые подходы к развитию угольной промышленности: Тр. Междунар. науч.-практ. конф. — Кемерово: Сибирское отделение Российской академии наук, Кемеровский научный центр СО РАН, Институт угля СО РАН, Институт углей и химического материаловедения СО РАН, Кузбасский государственный технический университет, ООО КВК "Экспо-Сибирь", 2012. С. 146–148.

Designing of Prospective Performance Bucket of Hydraulic "Backhoe" Excavator

Intensification of doing opencast mining, as well as dynamics and maneuverability of construction works predetermined tendency to expand fleet of hydraulic excavators in the mining industry and on construction sites. Increased demand for quality and prompt conduct excavation to excavation technique makes high demands on reliability, performance, and a number of other criteria.

This article discusses the issue of developing a new concept of embodiment hydraulic excavator bucket scheme "backhoe". Changing the design is based on the definition of the relationship between the rational design parameters excavator bucket and the stress-strain state in its most critical elements. Establishing such a dependence will minimize stress in the most critical structural elements and energy when doing excavation.

This article contains the research in this area associated with the proposal and rationale of a new case design bucket, realizing itself on the use of the identified dependencies. The main element, have been subjected to structural changes — is the front edge of the bucket, which will be implemented in the form of radially curved chute section.

Keywords: hydraulic excavator, bucket, repair, production, recovery, reliability

References

1. **Spravochnik** po tehničeskim karakteristikam i primenjeniju. KOMATSU. 24-e izd. Tokio, Japonija. 2003. 880 p.
2. **Esco** corporation [Elektronnyj resurs] ESCO. Rezhim dostupa <http://www.escocorp.com/index.html>, svobodnyj. Zagl. s jekrana. Jaz. angl.
3. **Beljakov Ju. I.** *Proektirovanie ekskavatornyh rabot*. M.: Nedra, 1983. 225 p.
4. **Horeshok A. A., Pudov E. Ju., Ljubimov O. V.** Konstruktivnye i eksploatacionnye osobennosti adaptivnyh uzlov kovshej gidravličeskikh ekskavatorov. *Materialy Kit.-Rus. Forumy "Bezopasnoe proizvodstvo, shahty i tehnologičeskoe oborudovanie"*, Ljaoninskij tehničeskij universitet (KNR), g. Fusin', 2009. P. 36—38.
5. **Horeshok A. A., Pudov E. Ju., Ljubimov O. V.** O vlijanii napravlenija vneshnej nagruzki na naprjazhenno-deformirovanoe sostojanie adaptivnogo uzla kovsha ekskavatora. *Innovacionnye tehnologii i ekonomika v mashinostroenii: tr. VII Vseros. nauch.-prakt. konf. s mezh-dunar. uchastiem*. Tomsk: Izd-vo TPU, 2009. P. 657—659.
6. **Siljutin S. M., Horeshok A. A., Pudov E. Ju.** Vlijanie konstruktivnyh osobennostej adaptivnyh uzlov na eksploatacionnuju nadezhnost' kovshej gidravličeskikh ekskavatorov. *Gornoe oborudovanie i elektromehaniika*. 2009. N. 5. P. 15—17.
7. **Horeshok A. A., Pudov E. Ju., Ljubimov O. V.** O vlijanii napravlenija vneshnej nagruzki na naprjazhenno-deformirovanoe sostojanie adaptivnogo uzla kovsha ekskavatora. *Gornoe mashinostroenie: tr. 7 Vseros. nauch.-prakt. konf. s mezh-dunar. uchastiem. Otdel'nyj vypusk Gornogo informacionno-analitičeskogo bjulletenja (nauchno-tehničeskij zhurnal)* *Mining Informational and analytical Bulletin (Scientific and technical journal)*. M.: Gorn. kn., 2010. N. OV3. P. 149—153.
8. **Horeshok A. A., Pudov E. Ju., Prejs E. V., Gerike B. L.** Perspektiva proektirovanija i proizvodstva novyh konstruktivnyh ispolnenij kovshej s cel'ju importozameshhenija. *Perspektivy razvitija gorno-transportnogo oborudovanija: Sbornik statej. 2012. Otdel'nyj vypusk Gornogo informacionno-analitičeskogo bjulletenja (nauchno-tehničeskij zhurnal)* *Mining Informational and analytical bulletin (scientific and technical journal)*. M.: Gorn. kn., 2012. N. OV 2. P. 266—270.
9. **Horeshok A. A.** Statističeskij analiz iznoshennosti kovshej maloj i srednej vmestimosti gidravličeskikh ekskavatorov. A. A. Horeshok, E. Ju. Pudov, O. V. Ljubimov. *Vestn. KuzGTU*. 2010. N. 5 (81). P. 86—89.
10. **Safihin M. S., Aleksandrov B. A., Nesterov V. I.** *Gornye mashiny i oborudovanie: ucheb. dlja vuzov*. M.: Nedra, 1995. 463 p.
11. **Pudov E. Ju.** Opredelenie racional'nyh parametrov gruntorazrushajushhih elementov kovshej gidravličeskikh ekskavatorov: dis. ... kand. tehn. nauk: 05.05.06; [Mesto zashhity: Kuz. gos. teh. un-t im. T.F. Gorbacheva]. Kemerovo, 2012. 155 p.
12. **Horeshok A. A., Pudov E. Ju.** Proektirovanie i proizvodstvo novyh konstruktivnyh ispolnenij kovshej gidravličeskikh ekskavatorov. *Energetičeskaja bezopasnost' Rossii. Novye podhody k razvitiju ugol'noj promyshlennosti: mezh-dunar. nauch.-prakt. konf.* — Kemerovo: Sibirskoe otdelenie Rossijskoj akademii nauk, Kemerovskij nauchnyj centr SO RAN, Institut uglja' SO RAN, Institut uglehimii i himičeskogo materialovedenija SO RAN, Kuzbasskij gosudarstvennyj tehničeskij universitet, OOO KVK "Jeks-po-Sibir", 2012. P. 146—148.

А. Н. Егоров, ген. конструктор — директор НТЦ,
Л. И. Трухнов, гл. конструктор по карьерной технике НТЦ,
А. М. Насковец, инж.-конструктор КБ компоновки НТЦ,
ОАО "БелАЗ" — управляющая компания холдинга "БелАЗ-ХОЛДИНГ", Беларусь
E-mail: office@belaz.minsk.by

Новая линейка самосвалов с электромеханической трансмиссией переменного тока серии БелАЗ-7558 грузоподъемностью 90 т

A. N. Egorov, L. I. Trukhnov, A. M. Naskovec

The New Line of Dump Trucks with Electromechanical Transmission the AC Series BelAZ-7558 Capacity of 90 t

Развитие добычи полезных ископаемых открытым способом в последние годы характеризуется усложнением топографических условий месторождений, вовлекаемых в разработку, увеличением глубины существующих карьеров. Следуя политике постоянного совершенствования выпускаемой предприятием техники, обеспечения ее максимальной приспособленности к условиям эксплуатации и снижения себестоимости перевозок, БелАЗ, имея в своей производственной линейке карьерные самосвалы широко востребованного горняками класса грузоподъемности 90 т с гидромеханической трансмиссией, некоторое время назад приступил к разработке новых высокоэффективных при эксплуатации в условиях, где не требуется особо высокий динамический фактор, карьерных самосвалов грузоподъемностью 90 т с электромеханической трансмиссией.

В начале 2008 г. РУПП "Белорусский автомобильный завод" выставил на ведущие мировые предприятия по производству электропривода технические требования на разработку привода для карьерного самосвала грузоподъемностью 90 т. При этом учитывался опыт внедрения привода переменного тока на самосвалах большей грузоподъем-

ности. В основу технических требований легли тягово-динамические характеристики, весовые и габаритные параметры карьерного самосвала БелАЗ-75570 грузоподъемностью 90 т с гидромеханической трансмиссией.

В середине 2012 г. был изготовлен первый опытный образец карьерного самосвала БелАЗ-75580, а к концу этого же года — первый образец БелАЗ-75581. На данный момент БелАЗ-75581 (см. 2-ю стр. обложки) поставлен на серийное производство, по БелАЗ-75580 продолжаются конструкторские доводочные работы.

Конструктивные особенности карьерных самосвалов серии БелАЗ-7558

Карьерные самосвалы данной серии представляют собой двухосные технологические машины грузоподъемностью 90 т с жесткой литосварной рамой и задней разгрузкой, с колесной формулой 4 × 2, передними управляемыми и задними ведущими колесами. Данный вид транспорта предназначен для перевозки вскрышных пород и полезных ископаемых на открытых горных разработках, грунта и других сыпучих грузов вне дорог общего

пользования, рассчитан на эксплуатацию в сложных горно-технических условиях карьеров различной глубины и конфигураций.

На карьерных самосвалах данной серии установлен дизельный, четырехтактный двигатель с V-образным расположением цилиндров, непосредственным впрыском топлива, газотурбинным наддувом и промежуточным охлаждением надвучного воздуха модели QST 30-C мощностью 783 кВт (1065 л. с.) при 1900 мин⁻¹. Высокая удельная мощность данной силовой установки и применение на данных самосвалах электропривода нового поколения позволяют развивать скорость до 60 км/ч.

Двигатель оборудован электростартерным пуском, сухими 3-ступенчатыми воздушными фильтрами с автоматическим удалением пыли. Для облегчения пуска двигателя в холодное время года на карьерном самосвале установлены предпусковой подогреватель охлаждающей жидкости и фильтр грубой очистки с функцией подогрева топлива.

Выпуск отработавших газов осуществляется через теплоизолированные трубопроводы и металлорукава оригинальной конструкции в газоприемник для обогрева грузовой платформы.

В состав карьерного самосвала БелАЗ-75580 входит комплект тягового электропривода переменного-переменного тока КТОЭ-90 производства ЗАО "Крона Групп". Использование данного привода обеспечивает максимальный динамический фактор не менее 24 %, при этом самосвал с полной загрузкой способен преодолевать длительные уклоны до 16 % со скоростью не менее 6,3 км/ч (на 10 %-ном уклоне скорость составляет около 10 км/ч). Использование тормозных резисторов общей мощностью 1200 кВт позволяет удерживать постоянную скорость 15 км/ч на 16 %-ном спуске. Электропривод КТОЭ-90 состоит из двух тяговых электродвигателей ТАД-350-6 УХЛ2, тягового генератора СГТ-750 УХЛ2, шкафа электрооборудования ШПСУ-90.

Основные параметры электропривода КТОЭ-90

Мощность генератора, кВт	750
Напряжение на шине постоянного тока (на выходе выпрямителей), В:	
в тяговом режиме	950
в тормозном режиме	1000
Мощность тормозной резисторной установки, кВт	2 × 600
Номинальная мощность на валу асинхронного двигателя, кВт	350
Максимальная частота вращения асинхронного двигателя, мин ⁻¹ (при скорости самосвала 60 км/ч)	4000

На карьерном самосвале БелАЗ-75581 установлен электропривод КТЭ-90 производства ОАО "Силовые машины" филиал "Электросила". Электропривод КТЭ-90 состоит из двух тяговых двигателей ТАД-9 УХЛ2; тягового генератора ГСТ 700-8 УХЛ2 (1900 мин⁻¹, трехфазное исполнение); шкафа преобразователя частоты ШУ-90 (или "преобразователя") с комплектом монтажных частей (комплект внешних кабелей и контроллер кабины); комплекта кабинного оборудования (приборы управления, контроля и визуализации, расположенные в кабине водителя); тормозной установки УВТР 2 × 600 сопротивлением 1,4 Ом и системы вентиляции электропривода.

Основные параметры электропривода КТЭ-90

Мощность генератора, кВт	730
Напряжение на шине постоянного тока (на выходе выпрямителей), В:	
в тяговом режиме	950
в тормозном режиме	900
Мощность тормозной резисторной установки, кВт	2 × 600
Номинальная мощность на валу асинхронного двигателя, кВт	322
Максимальная частота вращения асинхронного двигателя, мин ⁻¹ (при скорости самосвала 60 км/ч)	4140

Применение тягового электропривода с частотно-регулируемым асинхронным электроприводом в условиях, где не требуется высокий (> 0,24) динамический фактор, по сравнению с гидромеханической трансмиссией позволяет: улучшить тяговые и тормозные характеристики самосвала; повысить эффективность его работы за счет более высокой производительности; расширить скоростной диапазон за счет эффективного динамического торможения в области высоких и низких скоростей; повысить надежность работы автосамосвала в целом; снизить эксплуатационные затраты на техническое обслуживание, ремонт и расходные материалы за счет исключения коробки передач с гидротрансформатором и насосом, дифференциала с карданной передачей, многодискового рабочего тормоза с его системой охлаждения, применения высокоэффективной микропроцессорной системы управления и диагностики.

Классическая колесная формула 4 × 2 в сочетании с направляющим аппаратом подвески, короткой базой и электромеханической трансмиссией переменного тока обеспечивает высокую плавность хода, маневренность и хорошие тягово-динамические качества.

Принятая схема направляющего аппарата подвески самосвала имеет минимальную силу сухого трения по сравнению с самосвалами-аналогами, обеспечивает хорошую плавность хода и соответственно минимальные динамические нагрузки на оператора и узлы самосвала. Использование шаровых опор в цилиндрах подвески обеспечивает минимальную трудоемкость и себестоимость ремонта, при ремонте требуется замена только вкладышей.

Использование классической схемы редукторов мотор-колес ведущего моста максимально унифицированных с редукторной частью серийных 120-тонных самосвалов позволяет добиться высокой надежности данного узла.

Гидросистема привода рулевого управления, тормозов и опрокидывающего механизма — объединенная, со значительной степенью унификации элементов гидропривода. Привод гидронасоса переменной производительности осуществляется от выходного фланца тягового генератора без применения дополнительного редуктора, тем самым обеспечивая минимальные потери мощности, отказ от радиатора для охлаждения гидропривода, достижение ресурса насосов до ремонта с учетом внедренной дополнительной системы фильтрации масла не менее 25...30 тыс. мото-часов.

В стандартную комплектацию самосвалов серии БелАЗ-7558 входят предпусковой подогреватель жидкости, кондиционерно-отопительный блок, система комбинированного пожаротушения с дистанционным включением, автоматическая централизованная система смазки, система контроля загрузки и топлива, система телеметрического контроля давления в шинах, система видеонаблюдения, система предупреждения приближения к высоковольтным линиям.

По заказу потребителя возможно комплектование карьерных самосвалов различными грузовыми платформами, обеспечивающими максимальное использование грузоподъемности самосвала в зависимости от плотности перевозимого груза. Так же платформы могут комплектоваться с футеровкой днища для защиты от износа при перевозке породы с большими абразивными свойствами. В ближайшей перспективе прорабатывается вариант установки на данные карьерные самосвалы двигателя внутреннего сгорания другого производителя.

Технические характеристики карьерных самосвалов серии БелАЗ-7558 грузоподъемностью 90 т

	БелАЗ-75580	БелАЗ-75581	
Грузоподъемность, т	90		
Модель двигателя	QST 30-C		
Номинальная мощность двигателя, кВт (л.с.), при 1900 мин ⁻¹	783(1065)		
Удельный расход топлива при номинальной мощности, г/(кВт·ч)	202		
Тяговый генератор:			
тип	СГТ-750	ГСТ 700-8	
мощность, кВт	750	730	
Тяговый двигатель:			
тип	ТАД-350-6	ТАД-9	
мощность, кВт	350	322	
Вместимость кузова, м ³ :			
геометрическая	37,7	44,5	75,0
с "шапкой" 2:1	53,3	60,0	93,0
Шины	27.00R49; 31/90-49		
Радиус поворота, м	11		
Масса эксплуатационная, кг	74 000 (комплектация без дополнительных систем)		
Масса полная, кг	164 000		
Максимальная скорость, км/ч	60		

Внедрение данной серии карьерных самосвалов позволило горнякам снизить эксплуатационные затраты и повысить производительность при перевозках.

Это подтверждают и приведенные ниже мнения специалистов российской горно-добывающей компании ООО "Регион 42", где в настоящее время эксплуатируется карьерный самосвал БелАЗ-75581: главного инженера А. Галкина и водителя БелАЗ-75581 М. Мельникова.

А. Галкин: — "Регион 42" оказывает услуги по перевозке угля и вскрышной породы на карьерных самосвалах "БелАЗ". Мы располагаем автопарком, который насчитывает более сотни "БелАЗов" грузоподъемностью от 55 до 220 т, и количество их постоянно увеличивается. Могу сказать, что техника данной марки надежна, и это проверено временем. Именно мы первыми в России приобрели 90-тонный БелАЗ-75581 с электромеханической трансмиссией. Сейчас эта машина задействована в разрезе "Камышанский" ОАО "СУЭК-Кузбасс". И уже по итогам первых месяцев работы нами было принято решение приобрести партию таких самосвалов, а также внести их в план закупок на 2014 год.

М. Мельников: — Наша машина очень надежная и "тяговитая", что сказывается и на наших зарплатах, так как мы успеваем сделать больше рейсов, не нарушая при этом скоростного режима.

А. Галкин: — У нас большой опыт эксплуатации карьерных самосвалов марки "БелАЗ". На 90-тон-

никах БелАЗ-75570 с ГМТ мы работаем уже несколько лет, хотя эта машина тоже сравнительно нова. БелАЗ-75581 с ЭМТ находится у нас лишь несколько месяцев. Поэтому оценить данный самосвал абсолютно объективно пока сложно. Впрочем, даже столь короткого срока хватило, чтобы сделать определенные выводы. Могу сказать, что машины такого класса грузоподъемности гораздо эффективней работают с электромеханикой. Хотя мы и следим за состоянием дорожного полотна и ведением горных работ, но случается, что вмешиваются сложные метеорологические условия, и дорога становится скользкой. Вот в этих условиях электромеханика всегда ведет себя лучше, чем гидромеханика. Потому что на подъемах электродвигатели позволяют работать всей трансмиссии без пробуксовок, а торможение электродинамикой на виражах и спусках обеспечивает противоскольжение колес.

М. Мельников: — Полчаса проливного дождя — и больше ни одна 90-тонная машина на этот довольно серьезный подъем — уклон до 12 процентов, который к тому же скользкий и размытый, не заедет. Только эта без проблем взберется на любой уклон.

А. Галкин: — Опираясь на свой немалый опыт использования выездных специализированных бригад, могу утверждать: машины с ГМТ больше требуют именно гаражного осмотра и обслуживания. Для этого есть объективные причины: большие объемы гидравлических жидкостей и объемы работ по очистке баков, механизмов трансмиссии, главной и бортовых передач, серьезные требования к применению смазочных масел, вопросы по тормозной системе. Всего этого нет на самосвалах с

ЭМТ, а двигателю и гидравлике по большому счету достаточно и сезонного обслуживания. Поэтому для техобслуживания БелАЗ-75581 вполне пригодны "полевые" условия, и только для проведения ТО-3 нужны гаражные.

Машина с этим объемом кузова хороша для технологического процесса угольных предприятий Кузбасса и прежде всего в плане своей производительности. Потому что в ряде мест имеются определенные горные условия, которые не позволяют применять экскаватор с 15...25-кубовым ковшом, а значит, использовать 130...220-тонные карьерные самосвалы. Работают экскаваторы с емкостью ковша 6...7 м³, и цикл для 130-тонника значительно увеличивается, что приводит к падению его производительности. Вот в этих условиях отлично подойдет машина грузоподъемностью 90 тонн. Универсальность ее в том, что она применима и к 6-, и к 15-кубовому экскаватору: получается нормальный цикл, хорошая производительность, тогда как машины большего класса грузоподъемности будут простаивать. 90-тонный же самосвал вполне способен вытеснить 55...60-тонники. Он будет работать на тех же условиях, с тем же экскаватором, а вот по производительности гораздо интересней.

Если же говорить в целом, то главная задача любой машины — работать высокопроизводительно, с высоким коэффициентом использования. Это обеспечивается не только организационно-техническими мероприятиями эксплуатирующей организации, но и конструктивными особенностями самой машины. Если конструкция позволяет быстро и экономично ее обслуживать, и ресурс у нее достаточно высок, значит, машина перспективна.

ООО "Издательство "Новые технологии", 107076, Москва, Стромьинский пер., 4

Дизайнер *Т.Н. Погорелова*. Технический редактор *Е.В. Конова*. Корректор *Е.В. Комиссарова*.

Сдано в набор 11.06.2014. Подписано в печать 29.07.2014. Формат 60 × 88 1/8. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 5,88. Заказ ГО814. Цена свободная.

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия. Свидетельство о регистрации ПИ № ФС77-19854 от 15 апреля 2005 г.

Оригинал-макет ООО "Авансед солюшнз". Отпечатано в ООО "Авансед солюшнз". 119071, г. Москва, Ленинский пр-т, д. 19, стр. 1.