

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.

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:

ДАНИЛИНА И.С.

ПЯТОВА И.Ю.

Телефон редакции:

(499) 269-53-97

Факс: (499) 269-55-10

Email: gma@novtex.ru

http://novtex.ru/gormash

СОДЕРЖАНИЕ

ПОДЗЕМНЫЕ РАБОТЫ

Хорешок А. А., Маметьев Л. Е., Цехин А. М., Нестеров В. И., Борисов А. Ю. Выбор технологических схем и оборудования для отработки угольных пластов на шахтах ОАО "СУЭК-Кузбасс" 3

Луганцев Б. Б., Подольский Э. Д., Сойфер В. В. Исполнительные органы отрывных струговых установок для обработки пласта на полную мощность 10

ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА. АВТОМАТИЗАЦИЯ

Хазанович Г. Ш., Бреусов А. Н., Калашников С. А. Мехатронная система автоматического управления подачей шахтной погрузочной машины 16

Абрамович Б. Н., Сычев Ю. А., Жуковский Ю. Л. Методы и средства повышения уровня энергосбережения и энергоэффективности на горных предприятиях 25

ДРОБИЛЬНО-РАЗМОЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Комиссаров А. П., Лагунова Ю. А., Шестаков В. С., Орочко А. В. Особенности рабочего процесса щековых дробилок с простым и сложным качением подвижной щеки 31

МАШИНОСТРОЕНИЕ

Болобов В. И., Бочков В. С., Юсупов Г. А., Бенедик В. Ю. Оценка возможности использования способа твердофазного спекания для получения биметаллической структуры корпуса породоразрушающего резца 35

РЕМОНТ. НАДЕЖНОСТЬ. ДОЛГОВЕЧНОСТЬ

Данилкин А. А., Мартынов В. Ю., Андреева Л. И., Красникова Т. И. Подходы к формированию эффективной системы ремонтного обслуживания горной техники 39

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ И КОНСТРУКТОРСКИЕ РАЗРАБОТКИ

Жабин А. Б., Аверин Е. А. Простейший аналитический метод расчета эрозии горных пород под действием гидроабразивной струи 44

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

ГОРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА

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:

KOZOVOY G.I. (co-chairman), Dr. Sci. (Tech.)

TRUBETSKOY K.N. (co-chairman),

Dr. Sci. (Tech.), Acad. RAS

ANTONOV B.I.

CHERVYAKOV S.A., Cand. Sci. (Tech.)

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.)

Editorial Board Members:

ABRAMOVICH B.N., Dr. Sci. (Tech.)

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

EGOROV A.N. (Belarus)

GALKIN V.I., Dr. Sci. (Tech.)

GLEBOV A.V., Cand. Sci. (Tech.)

KHAZANOVICH G.Sh., Dr. Sci. (Tech.)

KHORESHOK A.A., Dr. Sci. (Tech.)

MUKHORTIKOV S.G.

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.)

YUNGMEYSTER D.A., Dr. Sci. (Tech.)

ZHABIN A.B., Dr. Sci. (Tech.)

ZYRYANOV I.V., Dr. Sci. (Tech.)

Editorial Staff:

DANILINA I.S.

PYATOVA I.Yu.

CONTENTS

UNDERGROUND MINING

Khoreshok A. A., Mametyev L. E., Tsekhin A. M., Nesterov V. I., Borisov A. Yu. Selection of Technological Schemes and Equipment for the Working of Coal Layers in the Mines JSC "SUEK-Kuzbass" 3

Lugantsev B. B., Podolskiy E. D., Soifer V. V. The Cutting Heads of the Drag-Hook Plough Systems for the Working of Seam with Total Thickness 10

ELECTROMECHANICS. AUTOMATION

Khazanovich G. Sh., Breusov A. N., Kalashnikov S. A. Mechatronic Device for Automatic Control of the Feed Shaft Loading Machine 16

Abramovich B. N., Sychev Yu. A., Gukovskiy Yu. L. The Means and Methods of Power Saving and Efficiency Increasing in Mining Enterprises 25

CRUSHING AND MILLING EQUIPMENT

Komissarov A. P., Lagunova Yu. A., Shestakov V. S., Orochko A. V. Features Working Process Jaw Crushers with Simple and Complex Swing Movable Jaw 31

MECHANICAL ENGINEERING

Bolobov V. I., Bochkov V. S., Yusupov G. A., Benedik V. Yu. Assessing the Possibility of Using the Solid-Phase Sintering Method to Produce a Bimetallic Structure Body Rock Destruction Cutter 35

REPAIR. RELIABILITY. DURABILITY

Danilkin A. A., Martynov V. Yu., Andreeva L. I., Krasnikova T. I. The Ways to Organize an Effective System of Mining Equipment Maintenance 39

SCIENTIFIC RESEARCH AND DEVELOPMENT

Zhabin A. B., Averin E. A. Elementary Method for Calculation of Hard Rocks Erosion Caused by Abrasive Waterjets 44

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

УДК 622.33

А. А. Хорешок, д-р техн. наук, проф., **Л. Е. Маметьев**, д-р техн. наук, проф.,
А. М. Цехин, канд. техн. наук, доц., **В. И. Нестеров**, д-р техн. наук, проф., **А. Ю. Борисов**, ст. преп.,
КузГТУ им. Т. Ф. Горбачева

E-mail: bau.asp.@rambler.ru

Выбор технологических схем и оборудования для отработки угольных пластов на шахтах ОАО "СУЭК-Кузбасс"

Представлены типовые модули технологических схем проведения выработок проходческими комбайнами избирательного и непрерывного действия. Даны рекомендации по выбору оборудования и приведены основные технико-экономические показатели эксплуатации типовых модулей проходческих систем на шахтах ОАО "СУЭК-Кузбасс".

Ключевые слова: технологическая схема, модуль, состав оборудования, темпы проходки, проходческий комбайн, исполнительный орган, прибортовая зона, погрузка, резец, дисковый инструмент

Из угледобывающих регионов Российской Федерации самым мощным поставщиком угля в 2014 г. является Кузнецкий бассейн (210,8 млн т). Здесь добывается более половины (59 %) всего угля и 76 % углей коксующихся марок. При этом удельный вес угля из комплексно-механизированных забоев в Кузнецком бассейне в 2014 г. составил 86,7 %. В Кузбассе ведутся работы по освоению перспективных месторождений, например Ерунаковского, Караканского. В 2014 г. по сравнению с 2013 г. добыча угля в Кузбассе возросла на 8,1 млн т, а среднесуточная нагрузка одного действующего очистного забоя составила 4554 т. Среди угледобывающих предприятий Кузбасса первое место по производительности труда на одного рабочего занимает ОАО "СУЭК-Кузбасс" (391 т/чел.-мес. в 2013 г. и 406 т/чел.-мес. в 2014 г.). Это превышает средние показатели по бассейну в 1,7—1,84 раза. В составе ОАО "СУЭК-Кузбасс" 9 шахт, на которых добыча угля составила: в 2013 г. 24,581 млн т; в 2014 г. 25,426 млн т; план на 2015 г. составляет 29,7 млн т. По итогам 2014 г. среднесуточная добыча угля на шахтах компании достигла 8895 т [1].

Горно-подготовительные работы должны обеспечивать своевременную подготовку выемочных столбов при раскройке полей шахт. За 2014 г. в РФ проведено 359 км горных выработок, в том числе вскрывающих и подготавливающих 292 км. Интенсификация проходческих работ на шахтах Кузбасса осуществляется путем использования проходческих комбайнов избирательного действия

производства: ОАО "Копейский машиностроительный завод" (ОАО "КМЗ"), ПАО "Новокраматорский машиностроительный завод" (Украина), ООО "Ясиноватский машиностроительный завод" (Украина), ООО "Юргинский машиностроительный завод", ЗАО "Горловский машиностроитель" (Украина), а также западных фирм "Dosco", "Remag", "Sandvik", "Wirt", "DBT", "Joy". Комбайны непрерывного действия фирм "Dosco", "Sandvik", "Wirt", "Joy" используются для проведения протяженных нарезных горных выработок в угольных пластах, предпочтительно с высотой, не превышающей мощность без изменения формы контура выработок.

Обобщенный диапазон ежемесячных темпов проведения выработок этими комбайнами составляет от 390 до 907 м/мес. Проходческие комбайны избирательного действия со стреловидными исполнительными органами, проигрывая по скорости проведения горных выработок комбайнам непрерывного действия, обладают, вместе с этим, способностью адаптироваться к разрушению структурно-неоднородных забойных массивов и к изменению формы, размеров сечения выработок.

Проектирование технологических схем проходческих работ необходимо осуществлять с учетом комплекса требований, изложенных более чем в восьмистах нормативных документах, регламентирующих параметры системы разработки угольных пластов, средства механизации подземных проходческих работ, способы и средства управления

газовыделением и состоянием массива. Процессы подготовки выемочных столбов большой протяженности взаимосвязаны с увеличением длины горных выработок, расположение которых и их параметры должны обеспечивать безопасное рабочее состояние в течение всего срока службы с минимальными затратами на проведение, поддержание при минимальных потерях угля. Выбор рационального расположения выработок является важным условием, определяющим сложность и стоимость их проведения.

В настоящее время для шахт ОАО "СУЭК-Кузбасс" разработаны модули проведения подготовительных выработок со следующими основными показателями: сечение выработок от 9,0 до 24,0 м²; глубина расположения выработок не более 600 м; форма сечения выработок прямоугольная, трапециевидная; мощность пластов от 1,4 до 6,0 м; угол падения пластов до 20°. Модули технологических схем ориентированы на: длину выемочных столбов от 1000 до 4500 м; длину лав от 150 до 350 м; размеры целиков у монтажно-демонтажных камер от 15 до 80 м; расстояния между сбойками от 60 до 200 м; размеры охранных целиков от 10 до 35 м [2].

В наборе модулей проведения подготовительных выработок содержатся технологические схемы проходки одинарных и парных выработок, которые обеспечивают своевременное воспроизводство фронта очистных работ на шахтах.

Выбор средств механизации проходческих работ осуществляется с учетом положительного опыта

использования зарубежного и отечественного оборудования в различных горно-геологических условиях шахт ОАО "СУЭК-Кузбасс".

Коллективом авторов [2] предложены и разработаны 12 типовых модулей (табл. 1) со следующей маркировкой технологических схем: по виду проходческих работ (ПВ — проведение подготовительных выработок); по способу подготовки выемочного участка (Д — парными выработками, Т — тремя выработками, О — одинарной выработкой); по типу проходческого комбайна (И — избирательного действия, Н — непрерывного действия); по числу одновременно работающих комбайнов (1 — один, 2 — два, 3 — три); по очередности подвигания двух забоев (О — одновременное, П — последовательное); по порядковому номеру вариантов схем (В1, В2, В3, В4).

Пример структуры возможного варианта маркировки модуля проведения подготовительной выработки можно записать в виде следующего выражения: ПВ-Д-2И-О-(В1). Эта маркировка предполагает проведение выработок (ПВ), парных (Д), двумя комбайнами (2), избирательного действия (И), одновременно (О) по первому варианту схемы (В1).

В табл. 1 приведены варианты состава оборудования для раскрытия структурной формулы модулей технологических схем. На рис. 1—8 выборочно по отношению к табл. 1 представлены примеры графического изображения схем проведения

Состав оборудования проходческих комплексов для шахт ОАО "СУЭК-Кузбасс"

Таблица 1

№ п/п, рис.	Структурная формула модуля	Технологическое оборудование				
		ПК	П; БП	СВ	БУ	СК; ЛК
1	ПВ-О-1Н (В1)	12СМ15; 12СМ30	БПС-25; ВФ-14В	ВС30; 10ВС15; 10СC-32	—	2ЛТ-1000 А; 1Л-120; 2ПТ-120
2	ПВ-О-1Н (В2)	12СМ30; АВМ-20	Sigma; КПЛ-800; КСП	—	—	2ЛТ-1000 А; 2Л-120; 2ПТ-120
3	ПВ-О-1И (В1)	КП-21; П-110; КСП-42	Sigma; ПЛ-80	—	Rambor; Wombat; Turmag	2ЛТ-1000 А; 2ПТ-120
4	ПВ-О-1И (В2)	КП-21; П-110; КСП-42	—	—	Rambor; Wombat; Turmag	СР-70; КСР-100
5	ПВ-О-1И (В3)	КП-21; КПД; КСП-42	—	—	Rambor; Wombat; Turmag	СР-70; 2СР-70-05
6	ПВ-О-1И (В4)	КП-21; П-110; КСП-42	СБП-73-01 ВФ-14В-56-64с	5ВС-15М; 10СC-32; 10ВС-15	Rambor; Wombat; Turmag	2ЛТ-1000 А; 2ПТ-120
7	ПВ-Д-2Н-О	12СМ15; 12СМ30	БПС-25; ВФ-14В	ВС30; 10СC-32	—	2ЛТ-1000 А; 1Л-120; 2ПТ-120
8	ПВ-Д-1Н-П	12СМ15; 12СМ30	БПС-25; ВФ-14В	ВС30; 10СC-32	—	2ЛТ-1000 А; 1Л-120; 2ПТ-120
9	ПВ-Д-2И-О (В1)	КП-21; П-110; КСП-42; МЛ-2В	—	ВС30; 10СC-32	Rambor; Wombat; Turmag	2ЛТ-1000 А; 1Л-120; 2ПТ-120
10	ПВ-Д-2И-О (В2)	КП-21; П-110; КСП-42	Sigma; ПЛ-80	ВС30; 10СC-32	Rambor; Wombat; Turmag	2ЛТ-1000 А; 1Л-120; 2ПТ-120
11	ПВ-Т-3И-О	КП-21; КСП-42; МЛ-2В	—	ВС30; 10СC-32	Rambor; Wombat; Turmag	СР-70; КСР-100; 1ЛТ-1000 А; 1Л-120; 2ПТ-120
12	ПВ-Т-1Н-П	12СМ15; 12СМ30; АВМ-20	—	ВС30; 10СC-32	—	СР-70; КСР-100; 1ЛТ-1000 А; 1Л-120; 2ПТ-120

горных выработок с составом оборудования, используемого в настоящее время на шахтах ОАО "СУЭК-Кузбасс".

В табл. 1 и на рис. 1—8 использованы следующие сокращения: ПК — проходческий комбайн; П — перегружатель; БП — бункер-перегрузатель; СВ — самоходный вагон; БУ — бурильная установка; СК — скребковый конвейер; ЛК — ленточный конвейер.

Графическое изображение схем проведения одинарной выработки проходческими комплексами на базе комбайнов непрерывного действия ПВ-О-1Н (В1) и ПВ-О-1Н (В2) представлено на рис. 1 и 2.

При работе комбайнов непрерывного действия 12СМ15, 12СМ30 для решения вопроса отгрузки разрушенной горной массы рекомендуются два варианта:

— самоходный вагон (ВС30, 10ВС15 или 10СC-32); бункер-перегрузатель (БПС-25 или ВF-14В); ленточный конвейер (2ЛТ-1000 А, 1Л-120 или 2ПТ-120);

— перегружатель (Sigma, КПЛ-800 или КСП); ленточный конвейер (2ЛТ-1000 А, 1Л-120 или 2ПТ-120).

Первый вариант обеспечивает более высокую мобильность проходческого оборудования, цикличное (до 70 м) подвигание забоя выработки.

Во втором варианте применение наездной концевой станции "Sigma" производства ОАО "Юргинский машиностроительный завод" (г. Юрга) и ООО "Сигма-Кузбасс (г. Новокузнецк) уменьшает

затраты времени на наращивание ленточного конвейера и обеспечивает цикличное (до 18 м) подвигание забоя выработки.

Графическое изображение схем проведения одинарных выработок проходческими комплексами на базе комбайнов избирательного действия ПВ-О-1И (В1), ПВ-О-1И (В2) и ПВ-О-1И (В4) представлено соответственно на рис. 3—5.

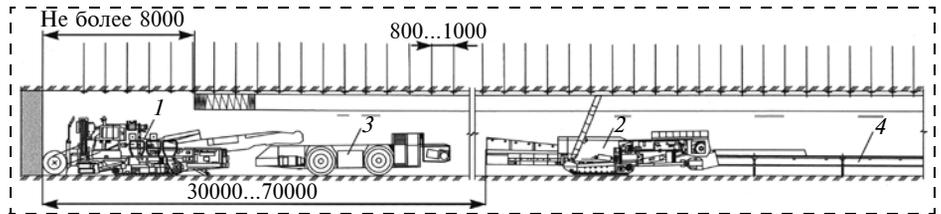


Рис. 1. Проходческий комплекс ПВ-О-1Н (В1):
1 — ПК (1 шт.); 2 — БП (1 шт.); 3 — СВ (1 шт.), 4 — ЛК (1 шт.)

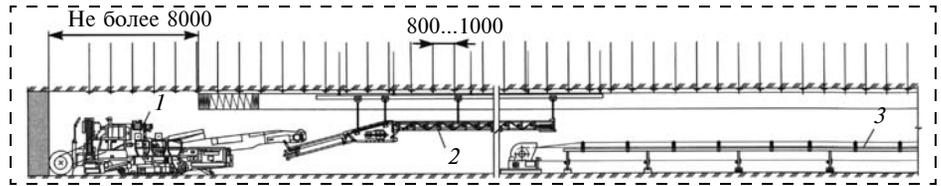


Рис. 2. Проходческий комплекс ПВ-О-1Н (В2):
1 — ПК (1 шт.); 2 — П (1 шт.), 3 — ЛК (1 шт.)

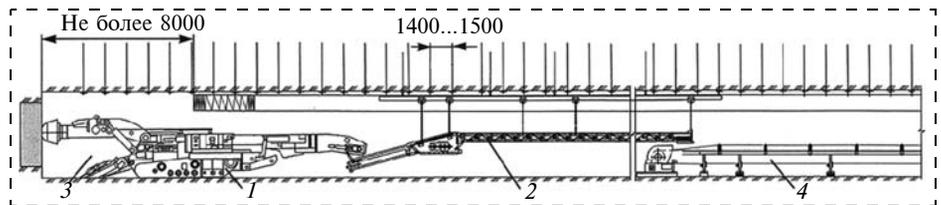


Рис. 3. Проходческий комплекс ПВ-О-1И (В1):
1 — ПК (1 шт.); 2 — П (1 шт.); 3 — БУ (2 шт.); 4 — ЛК (1 шт.)

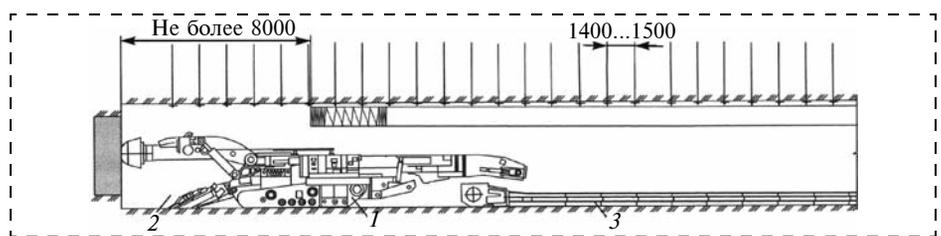


Рис. 4. Проходческий комплекс ПВ-О-1И (В2):
1 — ПК (1 шт.); 2 — БУ (2 шт.); 3 — СК (1 шт.)

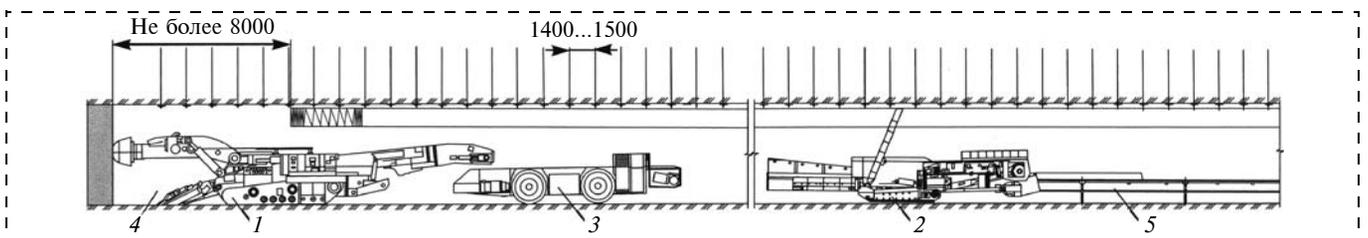


Рис. 5. Проходческий комплекс ПВ-О-1И (В4):
1 — ПК (1 шт.); 2 — БП (1 шт.); 3 — СВ (1 шт.); 4 — БУ (2 шт.); 5 — ЛК (1 шт.)

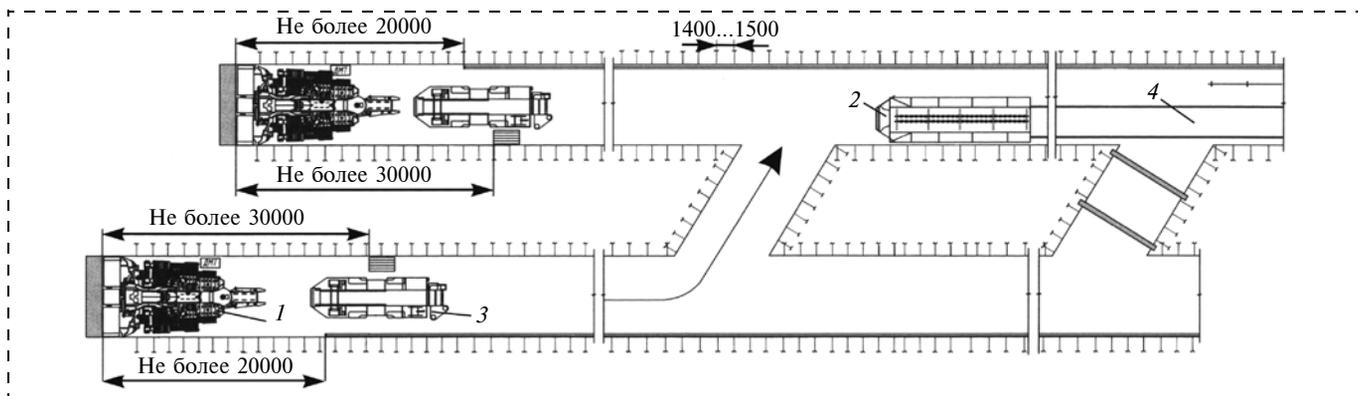


Рис. 6. Проходческий комплекс ПВ-Д-2Н-О:
1 — ПК (2 шт.); 2 — БП (1 шт.); 3 — СВ (2 шт.); 4 — ЛК (1 шт.)

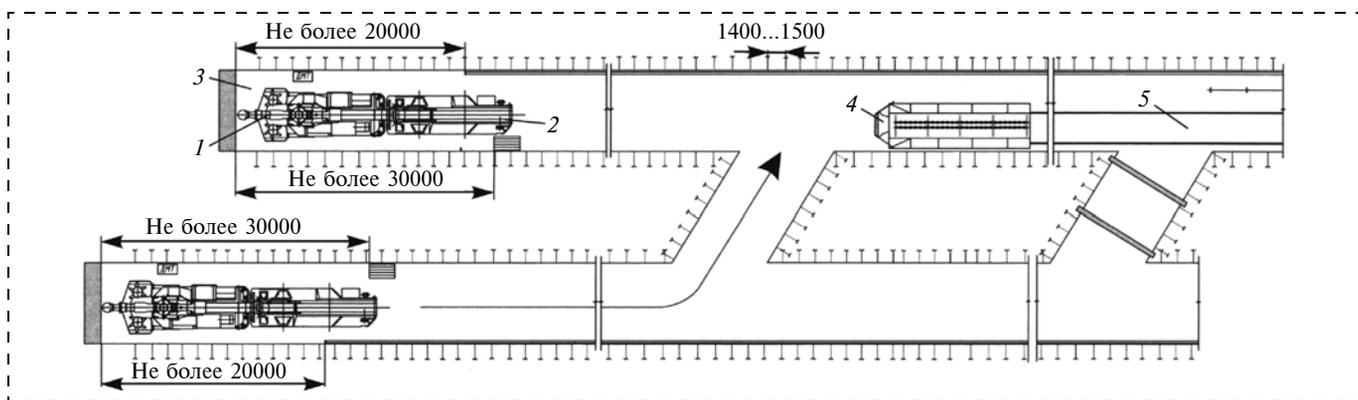


Рис. 7. Проходческий комплекс ПВ-Д-2И-О (В1):
1 — ПК (2 шт.); 2 — СВ (2 шт.); 3 — БУ (4 шт.); 4 — БП (1 шт.); 5 — ЛК (1 шт.)

Последний вариант (см. рис. 5) обеспечивает более высокую мобильность проходческого оборудования при циклическом (до 70 м) подвигании забоя выработки.

Графическое изображение схемы проведения парных выработок проходческим комплексом ПВ-Д-2Н-О одновременно двумя комбайнами непрерывного действия представлено на рис. 6.

Графическое изображение схем проведения парных выработок проходческими комплексами ПВ-Д-2И-О (В1) и ПВ-Д-2И-О (В2) одновременно двумя комбайнами избирательного действия представлено на рис. 7 и 8.

Для крепления выработок рекомендуется использовать анкеры А20В (в кровле) и АС14Ш (в стенке).

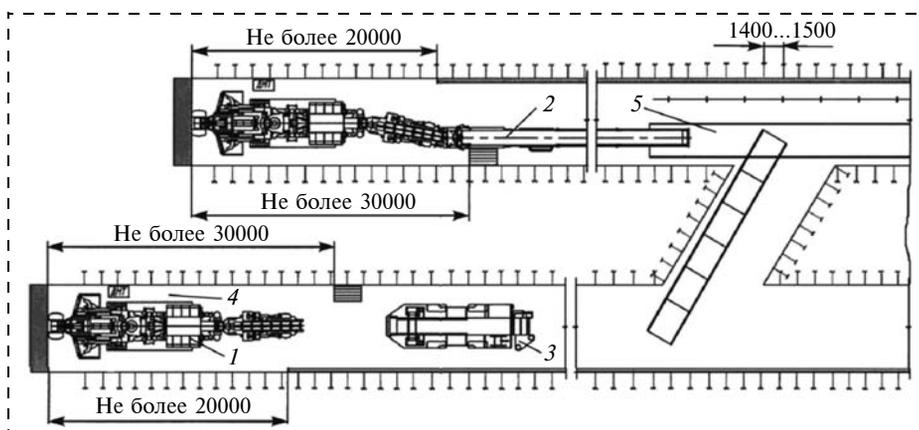


Рис. 8. Проходческий комплекс ПВ-Д-2И-О (В2):
1 — ПК (2 шт.); 2 — П (1 шт.); 3 — СВ (1 шт.); 4 — БУ (4 шт.); 5 — ЛК (1 шт.)

Параметры крепления оди-
нарных выработок по кровле:
число в ряду 4—6 шт.; рас-
стояние между рядами 0,8...1,5 м;
длина анкера 2,2...2,75 м; по
стенкам: число в ряду 2—3 шт.;
расстояние между рядами 0,8...
1,5 м; длина анкера 1,6...1,8 м.

Параметры крепления пар-
ных выработок по кровле: число
в ряду 6 шт.; расстояние между
рядами 0,8...1,0 м; длина анкера
2,2...2,75 м; по стенкам: число в
ряду 3 шт.; расстояние между
рядами 1,4...1,5 м; длина анкера
1,6...1,8 м.

Для комбайнов избирательного действия рекомендуется использовать автономные пневматические бурильные установки Rambor, Wombat, Turmag, для комбайнов непрерывного действия — навесные буровые установки, закрепленные на раме комбайна. Бурильные установки рекомендуются для бурения шпуров в породах крепостью до $f = 8$ ($\sigma_{сж}$ до 80 МПа).

Технико-экономические показатели модулей проведения подготовительных выработок, приведенные в табл. 2 и 3, свидетельствуют о том, что при использовании парных выработок вместо одинарных скорость их проведения комбайнами избирательного действия возрастает в 1,3—1,37 раза, а число циклов в сутки — в 1,24 раза.

Технико-экономические показатели модулей (см. табл. 2 и 3) проведения подготовительных выработок определены для 30 рабочих дней в месяце, 3 смен в сутки, продолжительности смены 6 ч.

Подготовка столбов парными штреками на расстоянии 10...35 м друг от друга улучшает проветри-

вание забоев при одновременной подготовке и обработке нескольких ярусов. Недостаток способа — потери угля в межъярусных целиках. Приведенные в табл. 1 модули 11 и 12 трехштрековой одновременной проходки горных выработок на шахтах России действующими нормативными документами пока не предусмотрены. Эти модули нашли широкое применение для длинных забоев (до 4860 м) на шахтах США [2].

Таким образом, описанные выше типовые модули рекомендуются как основа для разработки паспортов проведения и крепления горных выработок с учетом конкретных горно-геологических и горно-технических условий. Наибольшее распространение в России получила подготовка выемочных участков парными выработками, разделенными угольными целиками размерами от 10 до 35 м. Эти модули обеспечивают увеличение скорости подготовки выемочных столбов и своевременное воспроизводство фронта очистных работ. В 7 модулях из 12 рекомендовано использование отечественного проходческого комбайна КП-21 производства ОАО "Копейский машиностроительный завод".

На шахтах объединения ОАО "СУЭК-Кузбасс" в эксплуатации в период с 2007 по 2012 г. находились комбайны избирательного действия: 1ГПКС, П110, КП-21, СМ-130, MD-1100, Sandvik MR340 и непрерывного действия: Joy 12СМ30, Joy 12СМ18, Joy 12СМ15, DBT Bucyrus, Bolter Miner MB670. С течением времени структура парка комбайнов существенно изменилась. За этот же период, например, число комбайнов 1ГПКС в объединении уменьшилось в 12,5 раз (рис. 9) [3].

На рис. 10 представлены темпы проходки выработок следующими бригадами: 1 — шахта им. С. М. Кирова (В. И. Титаев); 2 — шахта "Талдинская-Западная-1" (Н. В. Мукин); 3 — шахта "Октябрьская" (В. Л. Зубрилов); 4 — шахта "Красноярская" ("Энергия"); 5 — шахта "Комсомолец" (В. В. Тихомиров); 6 — "Энергия Холдинг" шахта им. С. М. Кирова.

Динамика изменения парка проходческих комбайнов (рис. 11) свидетельствует о том, что с 2007 по 2012 г. число комбайнов КП-21 производства ОАО "КМЗ" возросло с 14,5 до 52 %.

На рис. 12 представлены следующие угольные компании: 1 — ОАО "СУЭК-Кузбасс"; 2 — ОАО "ОУК Южкузбассуголь"; 3 — ОАО "Кокс"; 4 — ЗАО "ХК СДС-Уголь"; 5 — УК "Заречная"; 6 — ОАО "Белон"; 7 — ООО холдинг "Сибуглемет"; 8 — ОАО УК "Кузбассразрезуголь"; 9 — ШПУ Кузбасса; 10 — ООО "Промуглесбыт"; 11 — ОАО "Южный Кузбасс". Как видно на рис. 12, наибольшую заинтересованность в приобретении этих машин в

Таблица 2

Технико-экономические показатели проведения одинарных выработок проходческими комбайнами

Показатели	Ед. изм.	Тип комбайна	
		избирательного действия	непрерывного действия
Скорость проведения	м/мес м/сут м/см.	405...460 12,6...15,3 4,5...5,4	729...810 24,3...27,0 8,1...9,0
Подвигание забоя за цикл	м	0,9...1,0	0,9...1,0
Число циклов	цик/сут цик/см.	14...17 5...6	27 9
Продолжительность цикла	мин	56...67	37
Производительность труда	м/чел.-см.	0,9...1,35	1,6...1,8
Число рабочих:			
в рабочую смену	чел.	4...5	5
в ремонтную смену	чел.	9...10	10

Таблица 3

Технико-экономические показатели проведения парных выработок проходческими комбайнами

Показатели	Ед. изм.	Тип комбайна	
		избирательного действия	непрерывного действия
Скорость проведения	м/мес м/сут м/см.	405...630 13,5...21 4,5...7	810 27,0 9,0
Подвигание забоя за цикл	м	0,9...1,0	1,0
Число циклов	цик/сут цик/см.	15...21 5...7	27 9
Продолжительность цикла	мин	48...67	37
Производительность труда	м/чел.-см.	0,9...1,4	1,8
Число рабочих:			
в рабочую смену	чел.	5	5
в ремонтную смену	чел.	13	13

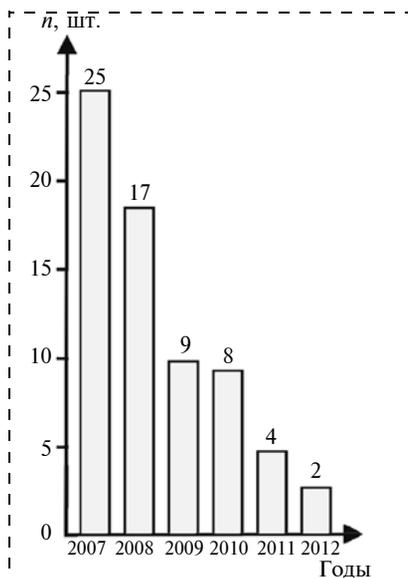


Рис. 9. Парк комбайнов IGPKS в ОАО "СУЭК-Кузбасс"

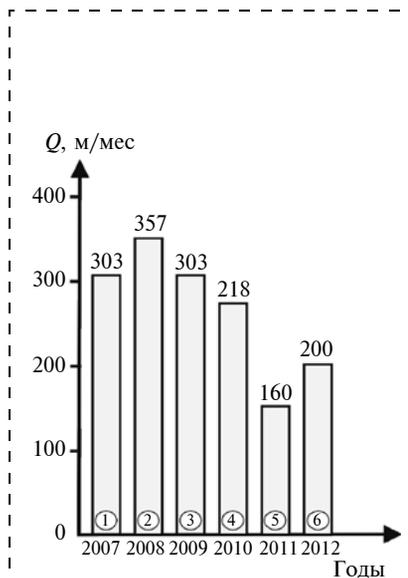


Рис. 10. Темпы проходки выработок комбайнами IGPKS бригадами шахт ОАО "СУЭК-Кузбасс"

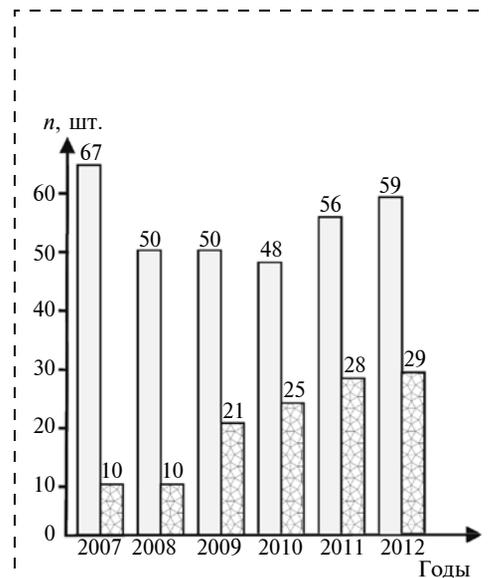


Рис. 11. Динамика изменения парка комбайнов:
 ■ — всего проходческих комбайнов ОАО "СУЭК-Кузбасс";
 ▨ — комбайны КП-21

Кузбассе проявили ОАО "СУЭК-Кузбасс", ОАО ОУК "Южкузбассуголь", ОАО "Кокс", ЗАО ХК "СДС-Уголь".

Анализ парка комбайнов в объединениях Кузбасса показывает, что техническая политика этих угольных компаний ориентирована на широкое применение проходческого комбайна КП-21.

Динамика объемов проходки выработок на шахтах ОАО "СУЭК-Кузбасс" (рис. 13) показывает, что ежегодно проходится 78 175...91 809 м выработок, причем доля объемов проходки комбайнами КП-21 с 2007 по 2012 г. возросла с 14,5 до 42,4 %.

За этот же период бригады ОАО "СУЭК-Кузбасс" интенсифицировали горно-подготовительные работы с 228 до 599 м/мес. Так, бригадой А. М. Авхимовича с участка № 3 шахты "Красноярская" в марте 2012 г. пройдено 599 м горной выработки с помощью комбайна КП-21 (рис. 14). С октября 2011 по март 2012 г. проходчики прошли 2322 м горных выработок, что явилось рекордом ОАО "СУЭК-Кузбасс" для комбайнов такого типа. В апреле 2012 г. пройдено 450 м комбайном КП-21 на шахте "Листвяжная" ХК "СДС-Уголь".

На рис. 14. представлены темпы проходки бригадами ОАО "СУЭК-Кузбасс": 1 — (В. Н. Фоминых)

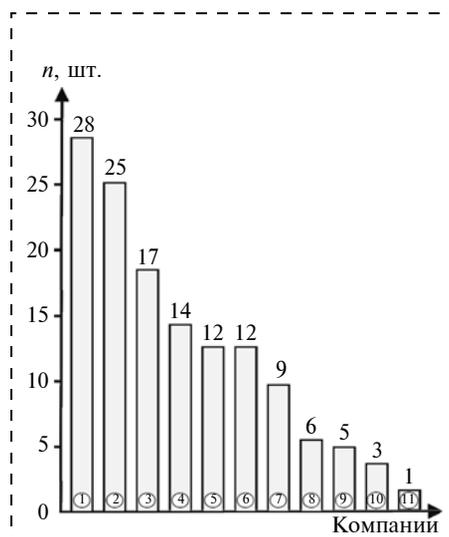


Рис. 12. Парк проходческих комбайнов КП-21 в угольных компаниях Кузбасса (2011 г.)

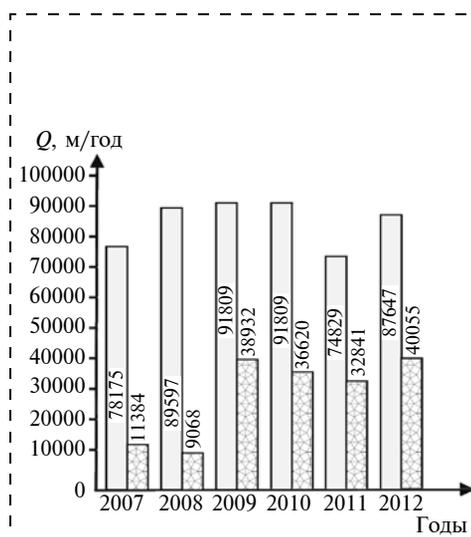


Рис. 13. Динамика объемов проходки выработок на шахтах ОАО "СУЭК-Кузбасс":
 ▨ — комбайны КП-21;
 ■ — все комбайны

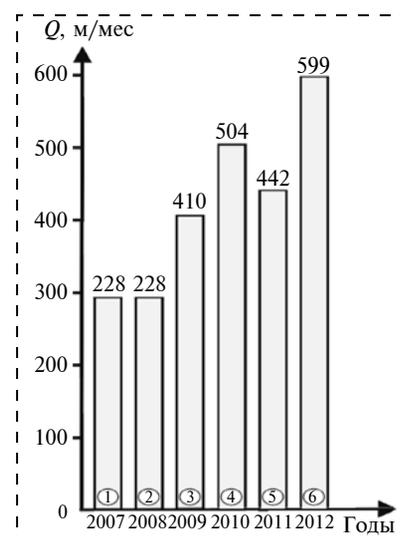


Рис. 14. Темпы проходки выработок комбайнами КП-21 бригадами шахт ОАО "СУЭК-Кузбасс"

шахта "Котинская"; 2 — (А. В. Виноградов) шахта № 7; 3 — (И. И. Овдин) шахта им. С. М. Кирова; 4 — (Н. В. Мукин) шахта "Талдинская-Западная-1"; 5 — (М. И. Красуцкий) шахта "Талдинская-Западная-1"; 6 — (А. М. Авхимович) шахта "Красноярская".

Ожидаемые темпы проходки комбайнами избирательного действия в ближайшей перспективе могут составить 600...800 м/мес, что соответствует требованиям конкурентоспособности с зарубежной техникой. Такие темпы проходки с применением комбайна КП-21 уже достигнуты бригадой С. А. Подрезова на шахте "Комсомолец" ОАО "СУЭК-Кузбасс". Этой бригадой пройдено горных выработок: в марте 2010 г. — 560 м, в сентябре 2010 г. — 707 м, в марте 2011 г. — 830 м.

В апреле 2014 г. рекорд угольной отрасли по подготовке горных выработок комбайнами КП-21 (853 м/мес) установила бригада С. Авхимовича с участка № 2 шахты им. А. Д. Рубана.

Использование в качестве породоразрушающего инструмента исполнительных органов проходческих комбайнов поворотных тангенциальных резцов сопровождается повышенным удельным расходом, вызванным износом головной части, низкой прочностью узлов крепления и потерей резцов (до 18 %) в призабойной зоне проходческой выработки [4]. Кроме того, отмечена низкая погрузочная способность проходческих комбайнов избирательного действия в прибортовых зонах, улучшение которой может быть достигнуто за счет применения дисковых породоразрушающих инструментов на конструктивных модулях узлов крепления с трехгранными призмами [5, 6].

Технологические схемы послужили основой для оценки темпов проведения выработок, структуры парка проходческих комбайнов и выбора направлений их совершенствования. Представленный выше в статье материал явился базовой основой для выполнения кафедрой горных машин и комплексов КузГТУ им. Т. Ф. Горбачева государственного задания Минобрнауки России по проекту № 632 "Исследование параметров технологий и техники для выбора и разработки инновационных технических решений по повышению эффективности эксплуатации выемочно-проходческих горных машин в Кузбассе". Акцент при этом сделан на проходческие комбайны избирательного действия, которые нашли наибольшее применение на шахтах ОАО "СУЭК-Кузбасс".

Выводы

Установлено, что парк проходческой техники на шахтах ОАО "СУЭК-Кузбасс" представлен час-

точно проходческими комбайнами непрерывного действия зарубежного производства (до 25 %) и в основном (75 %) проходческими комбайнами избирательного действия отечественного и зарубежного производства.

Реализация типовых технологических схем на базе существующего парка проходческой техники обеспечивает достижение передовыми бригадами темпов проведения подготовительных выработок для комбайнов избирательного действия от 600 до 800 м/мес и для комбайнов непрерывного действия — от 810 до 900 м/мес.

Рекомендовано продолжить работы в направлении совершенствования конструкций исполнительных органов современных отечественных и зарубежных проходческих комбайнов избирательного действия, обеспечивающих совмещение процессов разрушения забойного массива с дроблением негабаритов в зоне отжима и транспортирования продуктов разрушения из призабойной зоны на приемный стол погрузочного устройства.

Список литературы

1. Таразанов И. Г. Итоги работы угольной промышленности России за январь — декабрь 2014 года // Уголь. 2015. № 3. С. 56—71.
2. Демура В. Н., Артемьев В. Б., Ясюченя С. В. и др. Технологические схемы подготовки и отработки выемочных участков на шахтах ОАО "СУЭК-Кузбасс": Альбом. М.: Горное дело ООО "Киммерийский центр", 2014. 256 с. (Библиотека горного инженера. Т. 3 "Подземные горные работы". Кн. 12).
3. Маметьев Л. Е. Тенденции формирования парка проходческих комбайнов на шахтах Кузбасса / Л. Е. Маметьев, А. М. Цехин, А. Ю. Борисов // Вестн. Кузбасского гос. тех. ун-в. 2013. № 2. С. 14—16.
4. Хорешок А. А., Маметьев Л. Е., Цехин А. М., Борисов А. Ю., Бурков П. В., Буркова С. П., Крестовозвиженский П. Д. Производство и эксплуатация разрушающего инструмента горных машин / Юрг. технолог. ин-т. Томск: Изд-во Том. политехн. ун-та, 2013. 296 с.
5. Нестеров В. И. Исполнительный орган проходческого комбайна для совмещения процессов разрушения забоя с дроблением негабаритов и погрузкой горной массы / В. И. Нестеров, Л. Е. Маметьев, А. А. Хорешок, А. Ю. Борисов // Вестн. Кузбасского гос. тех. ун-в. 2012. № 3. С. 112—117.
6. Пат. 2455486 РФ: МПК Е 21 С 25/18, Е 21 С 27/24 (2006.01). Исполнительный орган проходческого комбайна / Маметьев Л. Е., Хорешок А. А., Борисов А. Ю., Кузнецов В. В., Мухортиков С. Г.; патентообладатель Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. профессион. образования "Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева" (КузГТУ). № 2010141881/03; заявл. 12.10.2010; опубл. 10.07.2012, Бюл. № 19. 14 с.

Selection of Technological Schemes and Equipment for the Working of Coal Layers in the Mines JSC "SUEK-Kuzbass"

Presents the standard modules of technological schemes of the driving of the tunnel combines selective and continuous action. Recommendations on the choice of equipment and the main technical and economic parameters of operation of the standard modules of the tunnel systems in the mines of JSC "SUEK-Kuzbass"

Keywords: technological scheme, module, equipment composition, the rate of tunneling, roadheader, effector, work areas, loading, cutter, disk tool

References

1. Tarazanov I. G. Itogi raboty ugol'noj promyshlennosti Rossii za yanvar'—dekabr' 2014. *Ugol'*. 2015. N. 3. P. 56—71.

2. Demura V. N., Artem'ev V. B., Yasyuchenya S. V. i dr. Tekhnologicheskie skhemy podgotovki i otrabotki vyemochnykh uchastkov na shahtah OAO "SUEK-Kuzbass": Al'bom. M.: Gornoe delo OOO "Kimmerijskij centr" (Biblioteka gornogo inzhenera. T. 3 "Podzemnye gornye raboty". Kn. 12). 2014. 256 p.

3. Mamet'ev L. E. Tendencii formirovaniya parka prohodcheskih kombajnov na shahtah Kuzbassa. L. E. Mamet'ev, A. M. Cekhnin, A. Yu. Borisov. *Vestn. Kuzbasskogo gos. tekhn. univ.* 2013. N. 2. P. 14—16.

4. Horeshok A. A., Mamet'ev L. E., Cehin A. M., Borisov A. Yu., Burkov P. V., Burkova S. P., Krestovozdvizhenskij P. D. Proizvodstvo i ehkspluatatsiya razrushayushhego

instrumenta gornykh mashin. *Yurg. tekhnolog. in-t. Tomsk: Izd-vo Tom. politekhn. un-ta*, 2013. 296 p.

5. Nesterov V. I. Ispolnitel'nyj organ prohodcheskogo kombajna dlya sovmeshcheniya processov razrusheniya zaboya s drobleniem negabaritov i pogruzkoj gornoj massy. V. I. Nesterov, L. E. Mamet'ev, A. A. Horeshok, A. Yu. Borisov. *Vestn. Kuzbasskogo gos. tekhn. univ.* 2012. N. 3. P. 112—117.

6. Pat. 2455486 RF: MPK E 21 S 25/18, E 21 S 27/24 (2006.01). Ispolnitel'nyj organ prohodcheskogo kombajna. Mamet'ev L. E., Horeshok A. A., Borisov A. Yu., Kuznetsov V. V., Muhortikov S. G.; *patentoobladatel' Feder. gos. byudzhet. obrazovat. uchrezhdenie vyssh. profession. obrazovaniya "Kuzbas. gos. tekhn. un-t im. T. F. Gorbacheva"* (KuzGTU). N. 2010141881/03; zayavl. 12.10.2010; opubl. 10.07.2012, Byul. N. 19. 14 p.

УДК 622.232.75

Б. Б. Луганцев, д-р техн. наук, проф., ШИ(ф) ЮРГПУ (НПИ) им. М. И. Платова,
Э. Д. Подольский, канд. техн. наук, советник ген. директора,
В. В. Соيفер, гл. констр. проекта, ООО "ШахтНИУИ", г. Шахты

E-mail: shaktniui@yandex.ru

Исполнительные органы отрывных струговых установок для обработки пласта на полную мощность

Создание исполнительных органов отрывных струговых установок для обработки угольного пласта на полную мощность позволило бы существенно снизить непроизводительные затраты времени в лавах с самообрушающейся верхней пачкой угля на обрушение этой пачки и разрушение негабаритов, а также применять в таких лавах механизированные крепи. Для обработки пласта на полную мощность в Шахтинском научно-исследовательском и проектно-конструкторском угольном институте (ШахтНИУИ) были созданы исполнительные органы с рессорной и гидравлической регулировкой высоты.

В исполнительном органе с рессорной регулировкой высоты между его корпусами на пакете рессор крепится резцовая головка. Она опускается или поднимается при изменении мощности пласта за счет прогиба рессор. Ход головки составляет 0,06 м. Исполнительный орган с рессорной регулировкой высоты был успешно испытан в ШахтНИУИ на полнометражном стенде с углелементным блоком.

В исполнительном органе с гидравлической регулировкой высоты между корпусами размещена гидровставка, гидроцилиндр которой оснащен резцедержателем с резцами и лыжей. Лыжа постоянно прижата к кровле пласта. Исполнительный орган с гидравлической регулировкой высоты успешно прошел испытания на стенде ШахтНИУИ, а также в производственных условиях при отработке пласта i_3^H "Степановский".

Результаты стендовых и промышленных испытаний исполнительных органов с рессорной и гидравлической регулировкой высоты позволили сделать вывод, что выбранные конструктивные решения являются перспективными.

Ключевые слова: исполнительный орган, струговая установка, пласт, уголь, обработка, полная мощность, стенд, резцовая головка, пакет рессор, гидровставка, рессорная и гидравлическая регулировка высоты

Актуальность работы

Серийные струговые установки обрабатывают угольный пласт не на полную мощность и поэтому могут успешно работать с механизированными крепями лишь в таких горно-геологических условиях, где верхняя пачка угля, не обрабатываемая исполнительным органом, легко отслаивается и самообрушается. В этом случае может потребоваться дополнительная технологическая операция — разрушение негабаритных кусков угля, которая при отсутствии специальных устройств для разрушения негабаритов может занимать достаточно большое время.

Выемка угольного пласта с зависающей верхней пачкой требует ее принудительного обрушения. Это может вызывать необходимость применения ручного труда.

Актуальной является разработка эффективных решений по созданию исполнительных органов для выемки пластов на полную мощность с обеспечением изменения высоты исполнительного органа при изменении мощности пласта.

Исполнительный орган с рессорной регулировкой высоты

Одним из таких решений стало создание исполнительного органа с резцовой головкой, установленной на пакете рессор, что обеспечило дополнительно к ступенчатой, как у всех исполнительных органов, также и плавную регулировку его высоты (рис. 1).

Техническая характеристика

Тип исполнительного органа	Отрывной
Режущий инструмент	Резцы РС3 и РС4 и зубки ЗР2.80 или ЗР4.80
Скорость движения исполнительного органа, м/с	0,77; 1,72
Высота исполнительного органа, м	0,7...1,2
Ход резцовой головки, м	0,06
Усилие, воспринимаемое резцовой головкой, кН	До 12
<i>Область применения</i>	
Мощность пласта, м	0,7...1,2
Угол падения, °	25
Сопrotивляемость пласта резанию, кН/м	До 250
Верхняя пачка пласта	Без ограничения по фактору самообрушения

Исполнительный орган с рессорной регулировкой высоты обеспечивает исключение его "затирания" о зависающую верхнюю пачку угля, а также исключение заклинивания исполнительного органа между кровлей и почвой пласта.

Исполнительный орган с рессорной регулировкой высоты состоит из серийного исполнительного органа, между корпусами которого жестко закреплена специальная рама 2. Пакет рессор 4, на котором, в свою очередь, жестко закреплена резцовая головка 3, опирается на левую 1 и правую 5 крышки. Резцовая головка перемещается в вертикальной плоскости при прогибе рессор по направляющим специальной рамы. Крепление пакета рессор на крышках исполнительного органа обеспечивает перемещение концов рессор при их прогибе на максимальную величину 0,06 м. Пакет рессор состоит из двух стальных листов толщиной 12 мм, шириной 100 мм, длиной 810 мм.

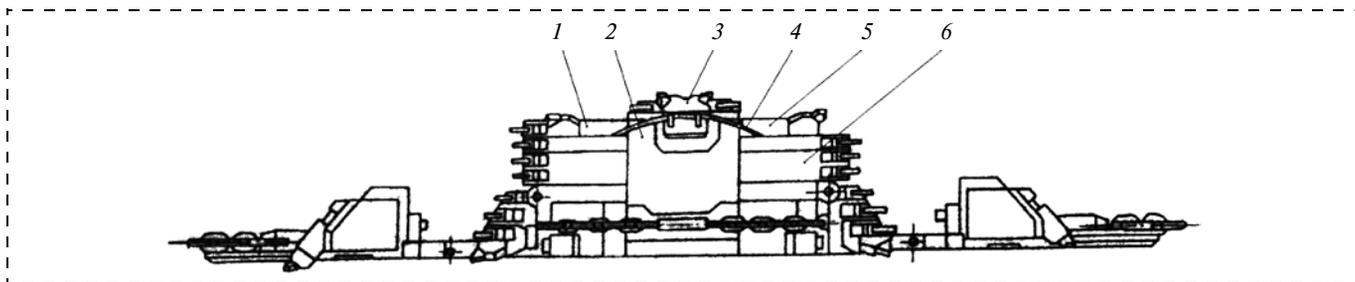


Рис. 1. Исполнительный орган с рессорной регулировкой высоты:

1 — крышка левая; 2 — рама специальная; 3 — резцовая головка; 4 — пакет рессор; 5 — крышка правая; 6 — проставка

Испытания исполнительного органа с рессорной регулировкой высоты проводились на полнометражном стенде ШахтНИУИ, оборудованном струговой установкой ISO2620. Углецементный блок имел длину 30 м и мощность 0,9 м. Шаг расстановки гидроцилиндров подачи 3 м. Образованный "kozyрек" (нависающая верхняя пачка) составил по мощности 0,25 м и в глубину 0,8 м.

Испытания серийного исполнительного органа и исполнительного органа с рессорной регулировкой высоты проводились при двух скоростях движения, 0,77 и 1,72 м/с, и давлении в системе подачи порядка 4,0 МПа.

При работе струговой установки проводились измерения мощности, потребляемой электродвигателями, моментов на валах, толщины снимаемой стружки с одновременной регистрацией давления в напорной магистрали.

При работе исполнительного органа с рессорной регулировкой высоты средняя толщина снимаемой стружки при скорости 0,77 м/с составила 5,25 см, а при скорости 1,72 м/с — 4,5 см, что соответственно на 1,75 и 0,75 см больше, чем при использовании серийного исполнительного органа. При скорости 0,77 м/с средняя мощность, потребляемая приводами, составила 196 кВт, что на 27,5 кВт больше, а удельная энергоёмкость процесса разрушения оказалась на 28 % меньше, чем при работе серийного исполнительного органа. При скорости 1,72 м/с средняя потребляемая мощность составила 423 кВт, что на 43 кВт больше, а удельная энергоёмкость процесса разрушения оказалась на 14 % меньше, чем при применении серийного исполнительного органа.

Уменьшение удельной энергоёмкости процесса разрушения, несмотря на увеличение высоты обработки забоя исполнительным органом с рессорной регулировкой высоты, объяснялось снижением потерь на трение за счет податливости верхней группы резцов, исключаяющей "затираание" крышек, а также увеличением толщины стружки.

Увеличение толщины снимаемой стружки произошло из-за жесткого соединения левого и правого корпусов исполнительного органа, препятствующего его развороту вокруг ограничителя толщины стружки и отходу его от забоя при установившейся толщине стружки.

В процессе исследований полностью подтвердились заложенные в изделии технические решения:

- схема набора режущего инструмента на режцовой головке работоспособна, резцы не "затираются" и не оставляют межрезцовых целиков;
- податливый элемент, выполненный в виде двух листов рессор, работоспособен и полностью выполняет свои функции;
- податливый элемент исключает "затираание" исполнительного органа и его заклинивание между почвой и кровлей пласта;
- применение режцовой головки, установленной на пакете рессор, снижает удельную энергоёмкость процесса выемки угля на 14...28 %.

Исполнительный орган с гидравлической регулировкой высоты

Результаты исследований работы исполнительного органа с рессорной регулировкой высоты явились базой для создания в ШахтНИУИ исполнительного органа с гидравлической регулировкой высоты (рис. 2).

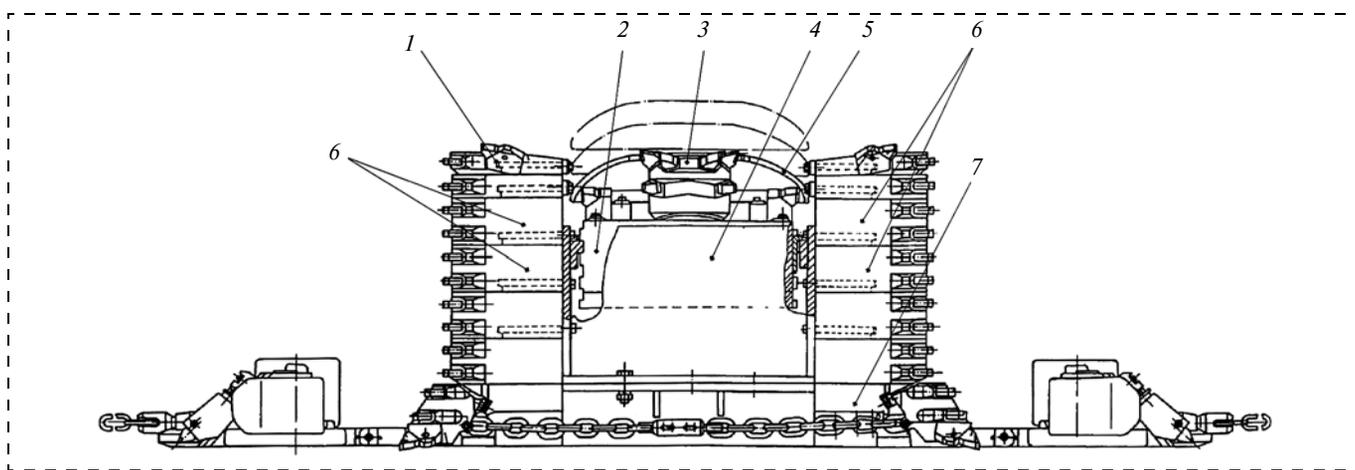


Рис. 2. Исполнительный орган с гидравлической регулировкой высоты:

1 — крышка; 2 — гидровставка; 3 — верхний поворотный резцедержатель; 4 — специальная проставка; 5 — лыжа; 6 — съемные проставки; 7 — корпус

Техническая характеристика исполнительного органа с гидравлической регулировкой высоты отличается от технической характеристики исполнительного органа с рессорной регулировкой высоты величиной хода верхней группы резцов (0,15 м против 0,06 м), что позволяет применять его при большей изменчивости мощности пласта в лаве.

На исполнительном органе между съемными проставками 6 размещена гидровставка 2 с верхним поворотным резцедержателем 3. Контакт исполнительного органа с кровлей и передачу давления на гидровставку обеспечивает лыжа 5, скользящая по кровле в зоне предыдущего реза.

Гидровставка 2 закреплена на специальной проставке 4, установленной в средней части корпуса 7, и предназначена для регулировки высоты обработки пласта в пределах 150 мм выше крышек 1.

Гидровставка (рис. 3) выполнена отдельным блоком и состоит из рамы 8, двух гидроаккумуляторов 5 и 11, гидроцилиндра 3, верхнего поворотного резцедержателя 7 с верхней группой резцов 1, лыжи 4 и выдвижной колонки 2.

В центральной части рамы вмонтированы гидроцилиндр 3 и выдвижная колонка 2, на которой закреплены поворотный верхний резцедержатель 7 с верхней группой резцов 1 и лыжа 4. По краям рамы 8 закреплены гидроаккумуляторы 5 и 11. Выдвижная колонка 2 совместно с рамой 8 образуют телескопический механизм 10, разгружающий гидроцилиндр 3 и другие составные части конструкции от возникающих при работе исполнительного органа усилий. Поршневая полость гидроцилиндра 3 при помощи каналов, выполненных в нижней плите 9 рамы 8, соединена с гидроаккумуляторами 5 и 11 в единую гидросистему. Через зарядный

клапан 6 рабочая жидкость под давлением подается в полости гидроаккумуляторов 5 и 11 и гидроцилиндра 3. Газовые полости гидроаккумуляторов заполнены сжатым азотом и выполняют роль газовой пружины. Под действием сжатого азота рабочая жидкость находится в гидросистеме под давлением, которое регулируют при заправке гидросистемы рабочей жидкостью.

При работе исполнительного органа гидроцилиндр 3 выдвигает колонку 2 с лыжей 4 до контакта с кровлей, а резцы резцедержателя 7 при движении исполнительного органа производят разрушение верхней пачки пласта. Гидроаккумуляторы 5 и 11 позволяют создать относительно равномерное значение распора между кровлей и почвой на всем ходе перемещения верхнего резцедержателя при изменяющейся мощности пласта.

Гидровставка может фиксироваться в одном из трех положений по вертикали, перекрывая при полной раздвижке гидроцилиндра 3 следующие диапазоны мощности пласта: 1) 0,470...0,620 м; 2) 0,545...0,695 м; 3) 0,620...0,770 м.

Наличие на исполнительном органе гидровставки описанной конструкции дает возможность обрабатывать забой на полную мощность при ее изменении в пределах 24...30 %.

Исследования исполнительного органа с гидравлической регулировкой высоты были проведены на стенде ШахтНИУИ. Испытательный стенд был оборудован двумя приводами для исполнительного органа и конвейерным ставом с направляющими кожухами. На приводах исполнительного органа устанавливалось по одному электродвигателю мощностью 105 кВт каждый, при испытании исполнительного органа со скоростью 0,5 м/с ус-

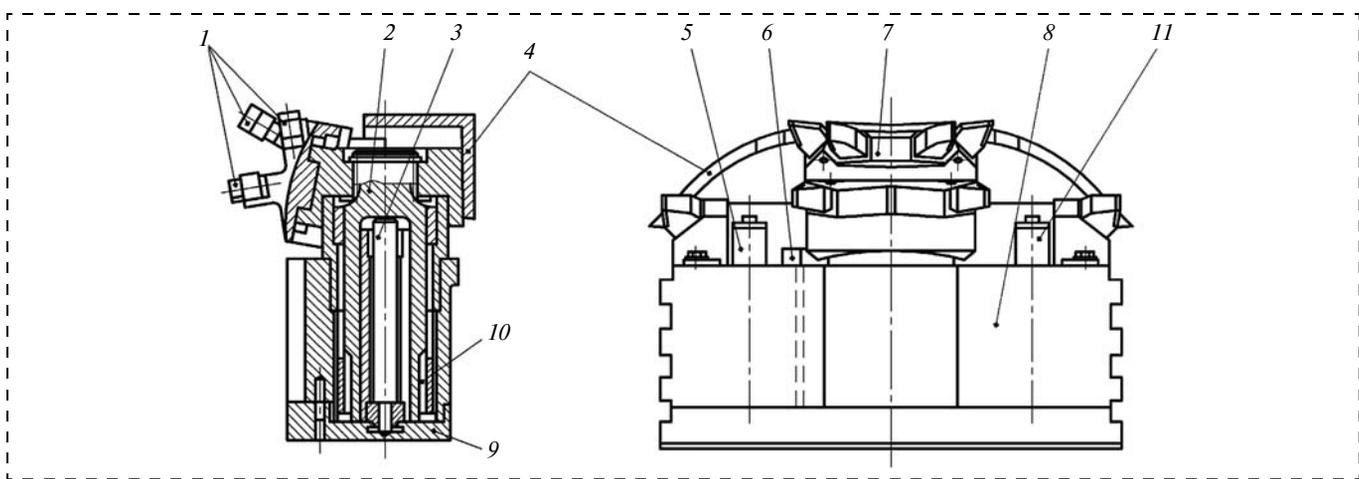


Рис. 3. Гидровставка:

1 — верхняя группа резцов; 2 — выдвижная колонка; 3 — гидроцилиндр; 4 — лыжа; 5, 11 — гидроаккумуляторы; 6 — зарядный клапан; 7 — верхний поворотный резцедержатель; 8 — рама; 9 — нижняя плита рамы; 10 — телескопический механизм

танавливались два двигателя по 32 кВт. Соединение двигателей с редукторами осуществлялось с помощью жестких зубчатых муфт.

Изменение скорости движения исполнительного органа осуществлялось установкой редукторов привода с различным передаточным отношением.

Стендовые исследования опытного образца исполнительного органа с гидравлической регулировкой высоты проводились при трех скоростях движения исполнительного органа $v_{и.о}$ (в три этапа): 0,5; 1,0 и 1,5 м/с.

Наблюдения показали, что наличие на исполнительном органе гидровставки практически не отразилось на погрузочной способности базовой конструкции. При разрушении блока на высоту до 0,8 м и толщине стружки 2...2,5 см исполнительный орган работал устойчиво без оставления земника.

Фиксация выдвигной колонки гидровставки перекрытием запорных клапанов гидроаккумуляторов предотвращала движение колонки вниз, однако при этом сохранялась возможность перемещения вверх.

На основании проведенных стендовых исследований опытного образца исполнительного органа с гидравлической регулировкой высоты установлено следующее.

1. Принципиальная гидрокинематическая схема исполнительного органа является работоспособной.

2. Исполнительный орган эффективно разрушал углицементный блок с сопротивляемостью резанию 258 кН/м при шаге расстановки домкратов 2,7 м и давлении в напорной магистрали 4 МПа. Резцы верхнего поворотного резцедержателя обеспечивали разрушение верхней пачки углицементного блока, повторяя заданную гипсометрию кровли при среднем давлении в гидровставке 4...4,5 МПа, скорости движения исполнительного органа от 0,5 до 1,5 м/с и толщине стружки около 2 см.

3. Наименьший перепад давлений в гидросистеме при полностью выдвинутой и опущенной выдвигной колонке достигался в том случае, если давление закачки жидкости соответствовало или было меньше начального давления газа в аккумуляторах.

4. КПД выдвигной колонки составляет 0,901...0,965 при центральной нагрузке и 0,629...0,672 при эксцентриситете около 150 мм (КПД выдвигной колонки определяется отношением разности усилия, подаваемого на поршень гидроцилиндра, и сопротивления перемещению поршня к усилию, подаваемому на поршень).

Для уменьшения влияния внецентренной нагрузки и вызываемых ею повышенных сил трения

при вертикальных перемещениях колонки перспективной является разработка конструкции исполнительного органа, у которого поступательное движение элементов раздвижки дополнено вращательным движением.

5. Показатель термодинамического процесса, протекающего в гидроаккумуляторах, практически соответствовал показателю адиабаты для азота ($k = 1,413$).

6. Конструкция верхнего поворотного резцедержателя должна предусматривать регулировку вылета верхних резцов по отношению к уровню лыжи.

Промышленные испытания опытного образца исполнительного органа с гидравлической регулировкой высоты были проведены в двух лавах при отработке антрацитового пласта i_3^H "Степановский" уголь с прослойкой глинистых сланцев мощностью 0,01 м с включениями колчедана, имеющего переменную мощность 0,55...0,82 м. Пласт через 2...2,5 м разбит микросбросами с амплитудой 0,03...0,07 м, трещины которых заполнены кварцитом, а также осложнен микроскладками, что делает волнистой кровлю и почву. Характеристика лав приведена ниже.

Геологическая характеристика лав, в которых проводились испытания исполнительного органа с гидравлической регулировкой высоты

	Лава № 1	Лава № 2
Длина лавы, м	150	150
Мощность пласта, м	0,64...0,82	0,55...0,73
Угол падения, °	2...4	5
Сопротивляемость угля резанию, кН/м	128	153

Непосредственная кровля представлена песчаным сланцем мощностью 2...3 м. Основная кровля представлена песчаником с наличием плоскостей скольжения. Непосредственная и основная кровли разделены пропластком угля мощностью до 2...4 см.

В почве пласта залегает песчанистый сланец средней устойчивости. Непосредственно по контакту почвы залегает "кучерявчик", склонный к незначительному пучению, а при наличии воды — к размоканию.

Система разработки в лавах — длинными столбами по простиранию при обратном порядке отработки лав. Способ управления кровлей — полное обрушение.

В результате промышленных испытаний исполнительного органа были сделаны следующие выводы.

1. Замкнутая гидросистема выдвигной колонки с использованием в качестве источника энергии

газового аккумулятора обеспечивает копирование профиля кровли и разрушение верхней пачки забоя при давлении закачки 1,7 и 3,3 МПа соответственно при эксплуатации в условиях одной и другой лавы.

2. Затраты мощности на отделение верхней пачки пласта с сопротивляемостью резанию 153 кН/м при стружке 6,5...11,7 см и на преодоление сопротивлений трения исполнительного органа о почву и кровлю составляли до 20,5 кВт.

3. Исполнение гидроставки в виде отдельного быстроразъемного узла создает эксплуатационные удобства, заключающиеся в улучшении ремонтнопригодности и в возможности применения гидроставки только по необходимости.

Промышленные испытания проводились в условиях, когда изменчивость мощности угольного пласта превышала возможности по регулированию высоты исполнительного органа, заложенные в его конструкцию. Дальнейшие исследования следует сконцентрировать в направлении увеличения диапазона регулирования высоты и обеспечения

поперечной устойчивости исполнительного органа при обработке угольного пласта на полную мощность.

Стендовые и промышленные испытания исполнительных органов отрывных струговых установок для обработки угольного пласта на полную мощность, разработанных ШахтНИУИ, показали их работоспособность и эффективность использования. При этом рессорная регулировка высоты должна применяться при изменчивости мощности пласта в лаве менее 0,06 м, а гидравлическая — при изменчивости от 0,06 до 0,15 м. Использование указанных исполнительных органов позволит существенно расширить область применения технологии струговой выемки, снизить неэффективные потери времени по выемке угля и повысить рентабельность производства.

B. B. Lugantsev, Professor,

Shakhty Institute (Branch) of the South-Russian Platov State Polytechnic University (NPI),

E. D. Podolskiy, Adviser of General Director, **V. V. Soifer**, Chief Designer of the Project, e-mail: shaktniui@yandex.ru, Shakhty Research and Design Institute of Coal Mining, Shakhty, Russia

The Cutting Heads of the Drag-Hook Plough Systems for the Working of Seam with Total Thickness

The creation of the cutting heads of the drag-hook systems for the working of the coal seam with total thickness will allow substantially to bring down the non-productive expense of time on breaking of coal hunches and on caving of overhead part of coal in the longwalls with non-self-caving overhead part of coal and also will allow to apply of the powered supports in such longwalls. The cutting heads with spring and hydraulic regulation of height for the working of seam with total thickness were created in the Shakhty research and design institute of coal mining (ShakhtNIUI).

In the cutting head with spring regulation of height the picks head is fastened between bodies on the springs packet. It goes down or rises at the change of the seam thickness owing to the springs sag. The motion of the picks head makes 0.06 m. The cutting head with spring regulation of height was successfully tested in ShakhtNIUI on the full-length stand equipped by a coal-cement block.

In the cutting head with hydraulic regulation of height the hydraulic insertion is set between bodies. The hydraulic insertion has the oil cylinder equipped by the picks head and the ski. The ski cuddles constantly to the seam roof. The cutting head with hydraulic regulation of height was successfully tested on the stand of ShakhtNIUI and also under factory conditions at working of the seam i_3^H "Stepanovskiy".

The results of the stand and industrial tests of the cutting heads with spring and hydraulic regulation of height allowed to draw the conclusion, that the selected structural decisions are perspective.

Keywords: the cutting head, the plough system, seam, coal, working, the total thickness, stand, the picks head, the springs packet, the hydraulic insertion, the spring and hydraulic regulation of height

УДК 622.619

Г. Ш. Хазанович, д-р техн. наук, проф., А. Н. Бреусов, асп., ШИ (ф) ЮРГПУ (НПИ) им. М. И. Платова, г. Шахты, С. А. Калашников, зам. гл. конструктора, ОАО "Копейский машиностроительный завод", г. Копейск

E-mail: hazanovich@rambler.ru

Мехатронная система автоматического управления подачей шахтной погрузочной машины

Целью работы является создание системы управления механизмом подачи шахтной погрузочной машины с парными нагребающими лапами, обеспечивающей достижение максимальной производительности с одновременной защитой механизма от силовых и тепловых перегрузок. Обоснована необходимость создания, изложены краткая история исследований и разработок подобных устройств, структура, принцип действия и конструктивное исполнение. Мехатронная система содержит микроконтроллерный блок управления, обеспечивающий прием, анализ стохастической информации о состоянии привода нагребающих лап и трансмиссии погрузочной машины и автоматическое формирование управляющих воздействий на механизм подачи машины на штабель. В процессе эксплуатации мехатронная система контролирует максимальные и эквивалентные нагрузки двигателя, частоту включений фрикционной муфты с гидроприводом и производительность на выходе погрузочной машины. Алгоритм управления предусматривает автоматическое дискретное изменение уровней настройки задатчиков в зависимости от сочетания значений контролируемых факторов. Предусматривается визуализация информации о состоянии машины, возможность перехода на ручное управление в аварийном режиме и при выполнении маневровых операций. При этом достигается максимальная производительность с полным использованием силовых и энергетических ресурсов машины.

Ключевые слова: погрузочная машина непрерывного действия, автоматическая подача на штабель, мехатронная система управления, производительность машины, максимальная нагрузка привода, допустимая частота включений, датчики основных параметров, защита от перегрузок, уровни настройки задатчиков, алгоритм управления подачей

Актуальность работы

Погрузка горной массы является одной из основных частей технологического процесса горной промышленности при проведении выработок. Для этих целей, например, на шахтах Восточного Донбасса широко применяются погрузочные машины с парными нагребающими лапами типа ПНБ (30 % из них составляют погрузочные машины 2ПНБ-2). Однако серийно выпускаемые погрузочные машины не оборудуются системами автоматического управления и контроля.

Основным недостатком ручного управления погрузочной машины является случайный характер формирования глубины внедрения погрузочного органа, который определяется оператором интуитивно, что ведет либо к уменьшению производительности (при глубине внедрения меньше оптимальной) и, как следствие, к увеличению числа подач в попытках поддерживать ее на высоком уровне, либо к недопустимому увеличению глубины внедрения. Это повышает износ узлов машины, приводит к повышенным нагрузкам на привод

нагребающей части и сбросу части погружаемого материала с плиты питателя под ходовую часть.

Еще одним негативным фактором является неравномерный и случайный характер нагрузки, создаваемой при взаимодействии нагребающих лап с погружаемой горной массой, в виду неоднородности ее характеристик даже на одном участке штабеля (изменяется крепость, крупность, влажность и другие свойства).

Таким образом, сам характер формирования нагрузки на привод нагребающей части и производительности погрузочной машины делает невозможным эффективное использование ресурсов машины даже при значительном опыте оператора, так как оценивать характер рабочего процесса и управлять подачей машины на штабель приходится, основываясь на целом ряде косвенных признаков.

Поэтому вопрос создания системы, которая позволила бы повысить производительность, надежность, эффективность машины с парными нагребающими лапами в целом, а также уменьшить трудоемкость процесса управления для оператора, является весьма актуальным.

История вопроса

Попытки теоретического обоснования принципов и создания систем автоматического управления подачей машин непрерывного действия в СССР и России насчитывают уже около 50 лет. Этими проблемами занимались ученые Новочеркасского политехнического института (ныне ЮРГПУ (НПИ) им. М.И. Платова) [1, 2], Коммунарского горно-металлургического института (г. Алчевск, Украина) [3], Института геотехнической механики АН УССР (г. Днепрпетровск) [4], участвовали заводы по выпуску машин типа ПНБ — Копейский и Ясногорский. Главным вопросом в этих исследованиях являлся принцип управления подачей, который обосновывался физикой процесса взаимодействия нагребающих лап со штабелем. Мнения ученых разделились. Одни считали, что необходимо создать систему, в которой скорость автоматической подачи должна изменяться плавно в функции нагрузки в приводе нагребающей части [1], другие предлагали прерывистую подачу, начало и окончание цикла которой также зависели от нагрузки в приводе [2]. В соответствии с этими были разработаны концепции систем автоматической подачи и соответствующие конкретные технические решения. Среди реализованных в экспериментальных и опытных образцах были машины с регулируемым приводом постоянного тока [3], двухдифференциальным гидроприводом [1], асинхронным приводом с релейным и импульсным регуляторами [2, 5]. Машина 1ПНБ-2Д производства Копейского машиностроительного завода с релейным регулятором подачи успешно прошла промышленные испытания [2, 5], остальные образцы испытывались в стендовых условиях.

Концепция непрерывной регулируемой подачи машин типа ПНБ основывалась на утверждении, что после захвата очередной порции груза лапами штабель осыпался с поверхности и как бы "отступал" от неподвижно стоящей машины. Для компенсации отставания необходимо было непрерывно подавать машину, компенсируя отход штабеля. Более поздние исследования показали, что такое явление характерно только для мелкокускового штабеля небольшой высоты. Установлено, что при погрузке рядовой породы основным фактором, оказывающим влияние на производительность погрузочной машины, является так называемый объем штабеля в активной зоне. То есть существует такой объем опирающегося на плиту питателя погружаемого материала, дальнейшее увеличение которого не приводит к росту производительности. Как было установлено в работе [5],

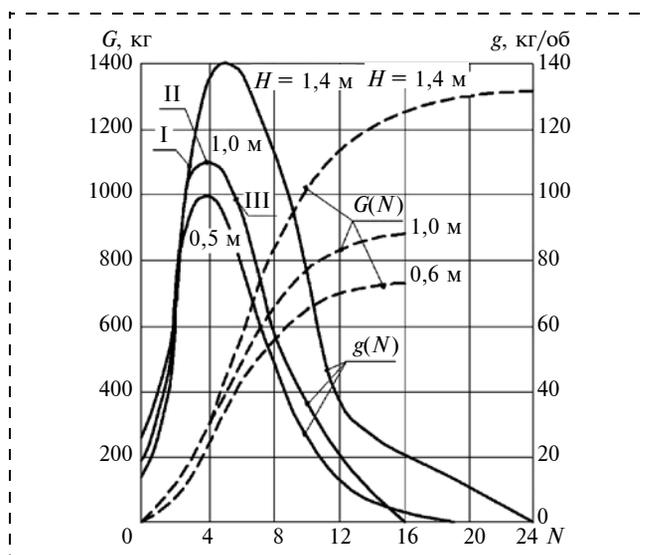


Рис. 1. Зависимость накопленного количества груза G и грузопотока q от порядкового номера черпания N при изменении высоты штабеля H

объем накопленного материала и производительность рабочего органа изменяются по зависимостям, приведенным на рис. 1 [5]. Проведенные эксперименты показали, что если обрушаемый объем в активной зоне в 6—7 раз превышает объем единичного черпания, то на участке II производительность стабилизируется и сохраняется практически максимальной в течение 3—4 черпаний [2, 5].

Такой характер рабочего процесса делает наиболее эффективным *дискретное управление подачей*, т. е. цикл подачи должен включать 2—4 черпания при неизменном положении питателя относительно штабеля. Принцип релейного управления был опробован и хорошо себя зарекомендовал в производственных испытаниях [2].

Вместе с тем простейший релейный регулятор подачи не обладал возможностями самонастройки, требовал ручной периодической корректировки уровней настройки задатчиков, не контролировал состояние систем привода нагребающей и ходовой частей и не гарантировал получение максимальной производительности при полном использовании силовых и энергетических ресурсов машины.

Системный подход к разработке устройства автоматического управления подачей

Целью создания мехатронной системы автоматического управления подачей является повышение конечной эффективности работы погрузочной машины типа ПНБ, заключающейся в обеспечении максимально возможного уровня производительности исходя из предельных силовых, энергетических возможностей машины, соблюдения требований надежности и безопасности.

В качестве целевой функции (критерия) принято достижение *максимально возможной средней производительности* погрузочной машины при выгрузке объема штабеля между двумя очередными циклами маневрирования с учетом следующих ограничений:

— эквивалентная мощность приводов нагребающей и ходовой частей не должна превышать соответствующих значений длительной мощности;

— максимальная нагрузка двигателя и трансмиссии нагребающей части не должна превышать допустимых значений;

— частота включения механизма подачи не должна превышать предельно допустимой величины;

— напорное усилие ходовой части должно находиться в допустимых пределах с учетом факторов сцепления гусениц с почвой и мощности ходового привода.

Эти ограничения должны соблюдаться в конкретных условиях работы погрузочной машины: угол наклона выработки; крепость и крупность погружаемой горной массы; высота штабеля; влажность погружаемого материала.

Также к системе автоматического управления предъявляются следующие дополнительные требования:

— самонастройка на оптимальные параметры в зависимости от условий работы погрузочной машины;

— возможность работы машины в двух режимах — ручном и автоматическом без перенастройки системы;

— защита основных узлов и механизмов погрузочной машины;

— надежность и простота эксплуатации.

Обоснование и выбор принципа управления подачей

Исходя из результатов ранее выполненных исследований, для создаваемой мехатронной системы управления выбран *дискретный принцип управления* подачей, как и в случае ранее созданного релейного регулятора [2, 5], но с автоматически изменяемыми уровнями настройки "задатчиков" в зависимости от текущей нагрузки на привод нагребающей части и других ограничений.

Для реализации релейного принципа управления подачей в систему вводятся два уровня настройки задатчиков: верхний, при котором происходит прекращение подачи, и нижний, при котором подача возобновляется.

В данной системе управления "задатчики" реализуются программно. Они представляют собой область памяти микроконтроллера (регистры), в которой хранятся пороговые значения нагрузки на

привод нагребающей части. Так как нагрузка определяется по току двигателей, то в качестве пороговых значений используются величины тока, протекающего по обмоткам статора. Значения уровней задатчиков определяются программно исходя из текущих характеристик процесса погрузки горной массы в соответствии с законами управления подачей и лежат в пределах от тока холостого хода до максимально допустимого длительного тока электродвигателей.

С учетом специфики рабочего процесса погрузки горной массы с применением погрузочного органа в виде парных нагребающих лап, когда система не имеет полной исходной информации о параметрах погружаемого штабеля (высота, крупность, крепость и влажность горной массы), об условиях работы (угол наклона выработки, характеристика почвы и др.), индивидуальных особенностях самой погрузочной машины (величина зазоров в системе "гидроцилиндр — фрикционная муфта — привод гусениц"), о необходимости вычисления текущей нагрузки на привод нагребающей части и изменения уровней настройки "задатчиков", наиболее эффективной является *адаптивная система автоматического программного управления*.

Адаптивные свойства данной системы заключаются в возможностях реализации следующих функций:

1) расчет конкретного значения временной поправки для так называемого опережающего управления ввиду различных условий работы погрузочной машины, которые приведены выше; при отсутствии этой функции фактическое начало подачи может произойти при объеме материала в активной зоне существенно меньшем оптимального (рассчитанного программой управления), что приведет к потере производительности;

2) расчет фактической глубины внедрения плиты питателя в штабель горной массы для прогнозирования объема материала в активной зоне;

3) оценка скорости и ускорения изменения нагрузки на привод нагребающей части для прогнозирования максимальных ее значений.

Применение средств программного управления позволяет значительно упростить процесс реализации достаточно сложного алгоритма расчета текущей нагрузки с элементами прогнозирования ее изменения и механизма адаптации управляющего модуля к изменяющимся условиям работы с учетом текущего состояния погрузочной машины.

Основой мехатронной системы автоматического управления подачей является микроконтроллерный блок управления, который позволяет проводить сбор и анализ данных, поступающих с датчиков в

режиме реального времени. В связи с высоким быстродействием современных микроконтроллерных устройств и гибкостью создаваемого программного обеспечения это позволит добиться:

- высокой скорости реакции системы на изменение условий работы погрузочной машины;
- отказоустойчивости системы вследствие дублирования некоторых внешних узлов системы и наличия алгоритмов обработки нештатных ситуаций (более подробно алгоритмы будут описаны ниже);
- самонастройки и адаптивности;
- надежности: предусмотрены два полностью независимых режима управления с гибкой связью; система автоматического управления получает информацию об использовании ручного управления, но выход из строя ручного управления или отсутствие информации о его применении не приводит к отказу системы, так же как и выход из строя или отключение блока автоматического управления; это позволяет в случае отказа одной из систем продолжать работу;
- простоты эксплуатации: мехатронная система автоматического управления подачей не требует перенастройки во время работы.

Состав, структура и функциональные взаимосвязи системы "штабель — погрузочный орган — ходовая часть — привод — система управления"

Для создания мехатронной системы автоматического управления подачей был проведен анализ взаимодействия в системе "штабель — погрузочный орган — ходовая часть — привод — система управления". При анализе рассматривалось комплексное взаимодействие основных процессов, протекающих при погрузке горной массы. Выводы о взаимодействии штабеля и погрузочного органа машины основываются как на материалах предыдущих исследований, так и на результатах компьютерного и физического моделирования, проводимых в рамках разра-

ботки настоящей мехатронной системы автоматического управления. Взаимодействие системы управления и погрузочной машины отражено в работах [6—8].

Структурная и функциональная схемы погрузочной машины с автоматическим управлением приведены на рис. 2 и 3 соответственно.

Переключатель режима управления имеет три положения: выключено, ручное управление, автоматическое управление. При включении системы (переводе ручки переключения в положение *ручное управление*) происходит подача питания на микроконтроллерный блок и перевод его в режим ручного управления (алгоритм работы блока управления приведен на рис. 4).

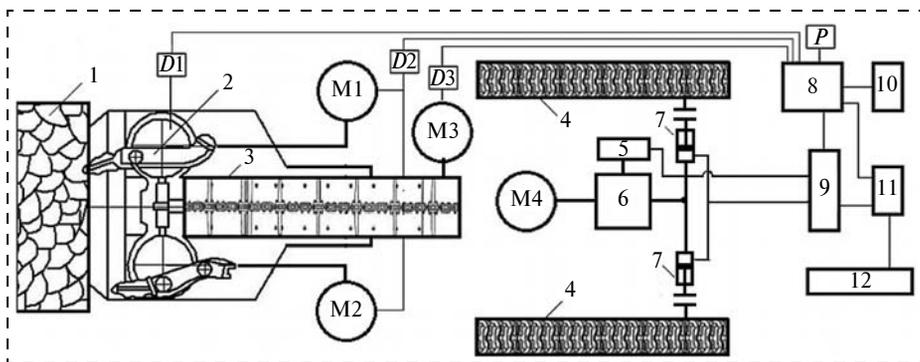


Рис. 2. Структурная схема мехатронной системы автоматического управления подачей погрузочной машины:

M1, M2 — приводы нагребающих частей; *M3* — привод конвейера; *M4* — привод ходовой части; *D1* — датчик оборотов ведущего диска; *D2* — датчик нагрузки привода нагребающей части; *D3* — датчик производительности; *P* — порт для подключения периферийных (внешних) устройств, использующихся для сбора данных, тестирования и настройки системы; 1 — штабель горной массы; 2 — питатель с нагребающими лапами; 3 — конвейер; 4 — гусеницы; 5 — гидронасос; 6 — редуктор ходовой части; 7 — блок "гидроцилиндры — фрикционные муфты"; 8 — микроконтроллерный блок управления; 9 — электрогидрозолотник; 10 — дисплей; 11 — переключатель режима работы устройства управления; 12 — пульт управления

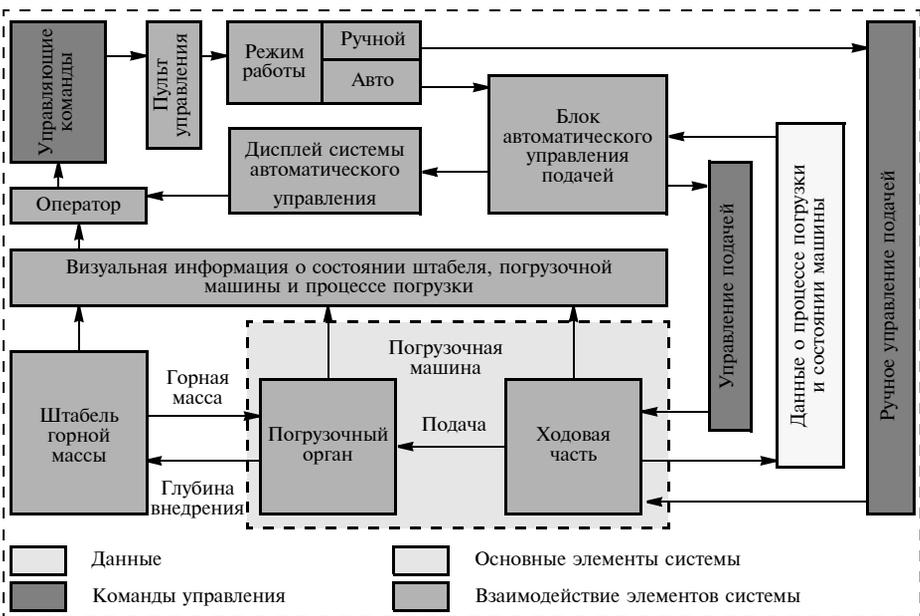


Рис. 3. Функциональная схема мехатронной системы автоматического управления

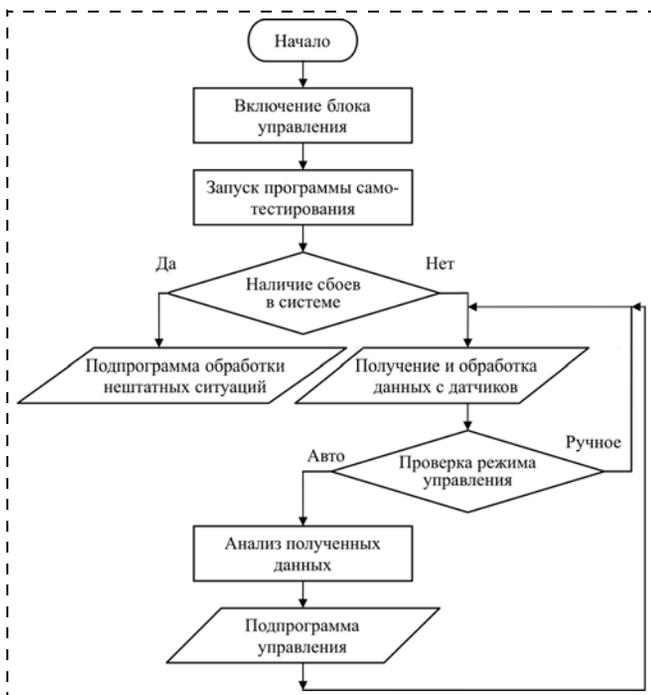


Рис. 4. Алгоритм работы мехатронной системы автоматического управления

При включении микроконтроллерного блока управления запускается программа самотестирования мехатронной системы автоматического управления, которая проверяет исправность основных узлов мехатронной системы и контролирует следующие показатели:

- режим работы электропривода (соответствие напряжения питания и тока электродвигателей допустимым значениям);
- исправность системы датчиков (наличие сигналов и их соответствие диапазону ожидаемых значений);
- исправность системы включения подачи.

В случае возникновения каких-либо неисправностей системы запускается подпрограмма обработки нештатных ситуаций, которая проводит их классификацию, фиксирует информацию о нештатной ситуации в памяти микроконтроллера, информирует оператора о характере возникших неисправностей и либо принимает решение о самостоятельном устранении ошибки (в том случае, если неисправность устранима программно-аппаратными средствами мехатронной системы управления) и выводит сообщение о результатах, либо выключает подачу машины на штабель, переключает систему в режим ручного управления (в том случае, если неисправность возникла во время работы системы в режиме автоматического управления) и переводит мехатронную систему в режим ожидания дальнейших команд оператора.

Оператор, в зависимости от степени тяжести возникших неисправностей, принимает решение либо об их устранении (в том случае, если работы по устранению неисправности возможно провести непосредственно на месте, например перезагрузка системы, сброс к начальным настройкам и т. д.), либо о полном переходе на ручной режим управления (если неисправность связана с управляющим блоком мехатронной системы и не устранима без ремонтных работ) до конца рабочей смены, либо о полном прекращении эксплуатации.

При работе мехатронной системы управления в режиме "ручное управление" происходит сбор информации о текущем состоянии погрузочной машины и расчет эквивалентного тока для оценки нагрева двигателей, но функции автоматического управления отключены. При переходе на автоматический режим работы в программу работы блока управления включается подпрограмма автоматического управления подачей (рис. 5).

Подпрограмма автоматического управления подачей проверяет отклонение напряжения питающей сети и при его изменении больше чем на 5 % от номинального значения проводит корректировку номинальных значений токов двигателей, а при критических отклонениях управление передается в подпрограмму обработки нештатных ситуаций.

Далее происходит сравнение текущей нагрузки на привод нагребающей части с установленными значениями задатчиков и выработка соответствующего управляющего сигнала (включение — выключение подачи).

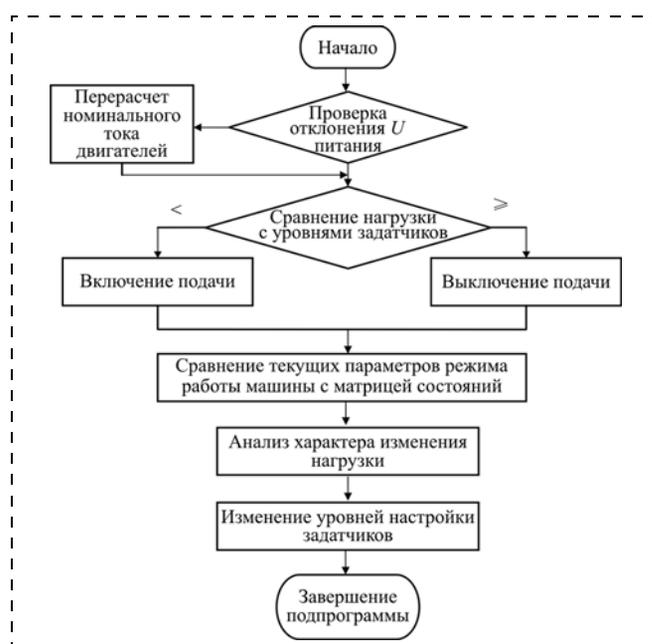


Рис. 5. Алгоритм подпрограммы автоматического управления подачей

Дальнейшим шагом работы программы является сравнение текущих характеристик режима работы погрузочной машины с матрицей состояний, которая представляет собой набор всех возможных сочетаний отклонений контролируемых параметров (производительность, состояние подачи, частота включения подачи и нагрев электродвигателей) и совокупность правил изменения значений уровней задатчиков (для поддержания контролируемых величин на соответствующем уровне), в соответствии с которыми, при необходимости, и происходит корректировка уровней настройки задатчиков.

Такой подход к решению поставленной задачи позволил объединить преимущества релейного управления — фиксированное количество состояний системы — и программного управления — анализ и обработка данных, поступающих с датчиков, которая дает возможность оценить характер и скорость изменения нагрузки на привод нагребающей части. Это, в свою очередь, позволяет избежать ложных срабатываний системы при кратковременных пиках нагрузки, которые не являются показателями общего характера протекающего процесса, и реализовать "опережающее управление".

Пример структуры и реализации компьютерного моделирования системы

Компьютерная модель погрузочной машины, разработанная с использованием языка Visual Basic, позволяет моделировать работу погрузочной машины как в ручном, так и в автоматическом режиме управления подачей при различных конфигурациях погрузочной машины и содержит несколько функциональных модулей.

Управляющий модуль модели, "окно" которого представлено на рис. 6, включает в себя программу автоматического управления подачей и является аналогом микроконтроллерного блока управления создаваемой мехатронной системы. Этот модуль выполняет также роль интерфейса пользователя и позволяет выполнить настройку параметров компьютерной модели, управление процессом моделирования и вывод на монитор компьютера дополнительной информации, характеризующей состояние блока управления, управляемого объекта (погрузочной машины) и процесса моделирования.

Модуль — меню конфигурации системы (рис. 7), позволяет проводить настройку параметров моделируемого объекта (ширину плиты питателя, диаметр ведущего диска, максимальную высоту лапы, частоту вращения дисков, характеристики привода нагребающей части, характеристики питающей сети, характеристики штабеля, угол на-

клона выработки) и системы автоматического управления, что делает возможным моделирование погрузочных машин с различными характеристиками и при различных параметрах штабеля и системы управления.

Модуль — модель процессов погрузочной машины (рис. 8), используется для визуализации процессов, происходящих при погрузке горной массы, позволяет проследить зависимость нагрузки на привод нагребающей части в функции глубины внедрения и угла поворота ведущих дисков, что делает

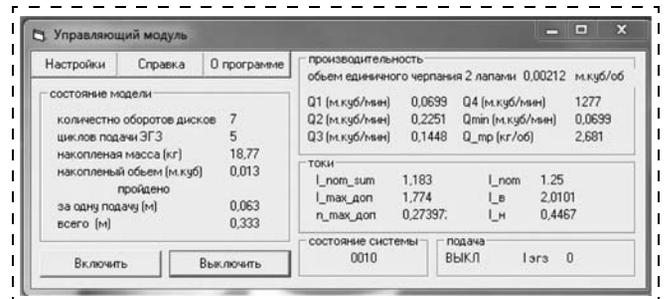


Рис. 6. "Окно" управляющего модуля компьютерной модели погрузочной машины

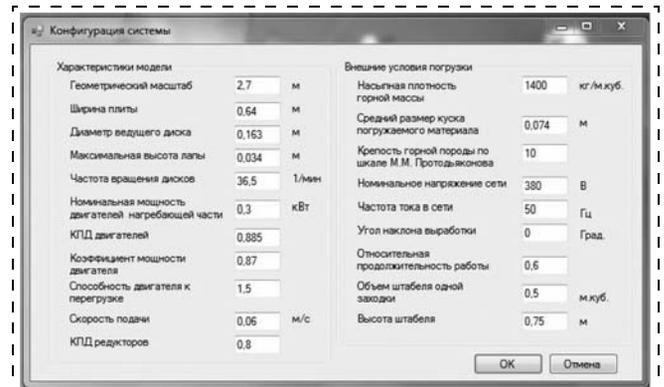


Рис. 7. Модуль — меню конфигурации системы

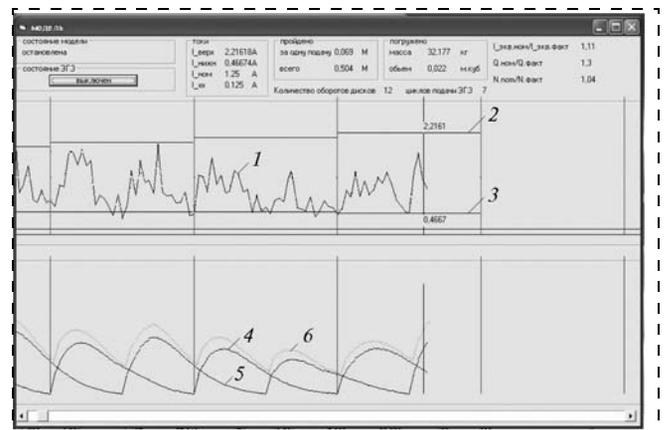


Рис. 8. Модуль — модель процессов погрузочной машины: 1 — суммарный ток двигателей нагребающей части; 2, 3 — верхний и нижний уровни задатчика; 4, 5 — моменты на валу левого и правого ведущих дисков соответственно; 6 — суммарный момент

возможным детальным анализ происходящих процессов и отслеживание поведения системы управления в режиме реального времени.

Вся информация о процессе моделирования сохраняется в специальном файле, что делает возможным последующую обработку полученных результатов.

В результате компьютерного моделирования были получены следующие цифры, свидетельствующие об эффективности автоматического управления по сравнению с ручным: повышение производительности — 5...15 %; запас по частоте включения подачи — 5...10 %; запас по нагреву двигателя — 10...20 %.

Таким образом, компьютерное моделирование показало эффективность использования предлагаемой системы автоматического программного управления подачей погрузочной машины.

Разработка физической модели системы и опробование принципов управления

Физическая экспериментальная модель системы представляет собой макет штабеля горной массы, действующую модель погрузочной машины с двухдвигательным электроприводом нагребающих лап, гидравлической системой подачи и программно-аппаратным комплексом, позволяющим отработать принципы и алгоритмы автоматизации подачи, наглядно показать и экспериментально подтвердить рабочие качества автоматического управления подачей машины на штабель, а также вести протокол испытаний с записью параметров работы модельной установки в память ЭВМ с помощью специально разработанного программного обеспечения. Программное обеспечение содержит дополнение к управляющей программе прошивки микроконтроллера и прикладную программу для ПК, которые позволяют наглядно отразить процессы, протекающие во время подачи машины на штабель и погрузки горной массы. В качестве натурального объекта при разработке конструкции и моделировании принята погрузочная машина 2ПНБ-2 [7, 8].

Предварительные данные, полученные при испытаниях мехатронного блока управления подачей, установленного на физической модели погрузочной машины, и в результате компьютерного моделирования подтвердили эффективность применения данной системы. Результаты компьютерного моделирования и испытания системы на физической модели будут представлены в отдельной публикации в настоящем журнале. На основе анализа данных о производительности физической модели и нагрузок привода нагребающих лап было доказано,

что система автоматизированного программного управления позволит повысить производительность машины на 15...20 % и ее ресурс — на 10...20 %.

Требования, предъявляемые к устройствам для технической реализации системы автоматического управления

Конкретным натурным объектом для создания мехатронной системы автоматического управления подачей выбрана машина погрузочная нового образца 2ПНБ-2М производства Копейского машиностроительного завода. Основными направлениями модернизации погрузочной машины для установки мехатронной системы автоматического управления являются:

- изменение гидросистемы, в частности установка электрогидрозолотников вместо гидрораспределителей с ручным управлением;
- монтаж системы датчиков;
- монтаж управляющего микроконтроллера.

Так как погрузочные машины серии 2ПНБ-2М выпускаются во взрывобезопасном исполнении и предназначены для использования на шахтах, опасных по газу и пыли, то все изменения, вносимые в конструкцию машины, не должны оказать влияние на безопасность ее эксплуатации. Поэтому предусмотрено использование электрогидрозолотников во взрывобезопасном исполнении, расположение устройств коммутации в корпусе магнитной станции и выполнение их на базе бесконтактных полупроводниковых реле. Датчики напряжения, нагрузки и производительности монтируются в электрическую сеть погрузочной машины и размещаются в корпусе магнитной станции. Датчики частоты вращения дисков монтируются в корпусе редукторов ведущих дисков и, так как являются низковольтными, имеют искробезопасное исполнение. Дополнительный кнопочный пост, располагающийся на пульте управления погрузочной машиной, также соответствует предъявляемым требованиям. Таким образом, все изменения, вносимые в конструкцию погрузочной машины, не окажут влияния на безопасность и надежность эксплуатации погрузочной машины.

Мехатронная система автоматического управления подачей погрузочной машины представляет собой совокупность программно-аппаратного комплекса (электронной части и датчиков управляемого объекта) и гидромеханического привода механизма подачи. Программно-аппаратный комплекс разделен на следующие функциональные блоки — подсистемы: датчиков; управления; защиты.

Блок датчиков содержит датчики нагрузки, производительности, угла поворота диска, режима работы. Датчики нагрузки привода нагревающей части реализованы на базе измерителей тока и напряжения, которые позволяют оценить момент сопротивления на валу электродвигателя по токам, протекающим в обмотках статора, и защитить двигатель от перегрузки, перегрева и критического снижения напряжения питающей сети. Датчик производительности на выходе конвейера позволяет поддерживать максимально допустимую производительность погрузочной машины при данных условиях работы. Датчик угла поворота ведущего диска позволяет проводить расчет нагрузки на нагревающую часть машины в функции угла поворота (в зависимости от положения нагревающей лапы относительно оси машины). Датчик режима работы передает блоку управления сигнал о текущем режиме управления, что позволяет реализовать параллельную работу ручного и автоматического управления без перенастройки системы. Это увеличивает надежность, безопасность и удобство эксплуатации данной системы.

Таким образом, система сбора информации о текущем состоянии погрузочной машины позволяет оценивать основные физические процессы, протекающие при взаимодействии погрузочной машины со штабелем, что дает возможность своевременно изменять сигналы управления в соответствии с управляющей программой.

Блок управления включает в себя микроконтроллер и управляющую программу ("прошивку" микроконтроллера) и выполняет следующие функции:

- сбор и обработку информации о текущем состоянии машины;
- выработку управляющих сигналов в зависимости от текущего состояния погрузочной машины и в соответствии с программой управления;
- мониторинг текущего состояния основных узлов и механизмов и косвенную оценку общего состояния системы;
- возможность прогнозирования аварийных режимов работы;
- выдачу информации на интерфейс пользователя (индикация состояния машины) и обработку поступающих команд;
- запись ключевых характеристик машины: среднечасовая производительность; продолжительность работы; информация о сбоях в работе оборудования, случаях срабатывания средств защиты и других нештатных ситуациях.

Блок защиты — это часть программно-аппаратного комплекса, которая наряду со стандартным набором устройств защиты содержит также алго-

ритм прогнозирования возможных аварийных режимов работы машины.

Таким образом, для установки мехатронной системы автоматического управления подачей на базовой погрузочной машине необходимо провести соответствующие изменения в гидравлической и электрической схемах базовой погрузочной машины.

Выводы

1. Необходимость и целесообразность применения системы автоматического управления подачей с использованием средств микропроцессорного управления обусловлена современными тенденциями развития горной техники.

2. Использование предлагаемой мехатронной системы автоматического управления подачей погрузочной машины непрерывного действия позволит существенно улучшить ее рабочие качества. По прогнозам, полученным на основании компьютерного моделирования и исследований на физической модели объекта, средняя производительность за чистое время погрузки должна возрасти на 15...20 %, наработка на отказ и ресурс машины — на 10...20 %. Существенно улучшатся условия труда машиниста, в перспективе возможно управление машиной без участия помощника машиниста.

3. Возрастет конкурентная привлекательность машин типа ПНБ в связи с переводом их на новый научно-технический уровень при использовании для управления современных информационных технологий. Наличие блока памяти в микропроцессоре позволит производителям машины получить реальные данные о режимах и нагрузках при эксплуатации машины, проводить на этом основании дальнейшую модернизацию.

4. Затраты на проектирование и дооборудование машины 2ПНБ-2 мехатронной системой управления подачей, по предварительным оценкам, не превысят 5...7 % стоимости машины в настоящее время, что обеспечит срок окупаемости не более 6 мес.

Список литературы

1. **Водяник Г. М., Дровников А. Н., Васильев Ю. А.** Погрузочная машина бокового захвата с автоматическим регулируемым режимом работы // Известия Сев.-Кавк. науч. центра высш. шк. Серия: Технические науки. Ростов-на-Дону. 1973. № 1. С. 29—33.
2. **Хазанович Г. Ш., Лоховинин С. Е., Ноздрин П. Ф., Уросов А. В.** Погрузочная машина 1ПНБ-2, оснащенная регулятором подачи // Горный журнал. 1979. № 11. С. 73—76.
3. **Верклов Б. А., Ровенок А. И., Жуков Б. А.** Система автоматического регулирования нагрузки погрузочных машин непрерывного действия // Горный журнал. 1970. № 10.

4. Козло В. К., Казачковский Н. Н., Зворыкин В. В. Погрузочная машина непрерывного действия как объект управления // Известия вузов. Горный журнал. 1980. № 6. С. 85—88.

5. Лоховинин С. Е. Повышение эффективности погрузочных машин типа ПНБ применением устройств прерывистой подачи. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Днепропетровск, 1988. 16 с.

6. Хазанович Г. Ш., Бреусов А. Н., Шемшура Е. А., Шемшура Я. Г. Имитационная модель погрузочной машины непрерывного действия с автоматическим управлением // Перспективы развития Восточного Донбасса: материалы 61-й Всерос. науч.-практ. конф. Шахты / ШИ (Ф) ЮРГПУ (НПИ). Новочеркасск: ЮРГПУ (НПИ). 2012. С. 114—121.

7. Хазанович Г. Ш., Шемшура Я. Г., Бреусов А. Н. Моделирование процесса погрузки машиной 2ПНБ-2 при автоматическом управлении режимом подачи // Сборник работ победителей отборочного тура Всероссийского смотра-конкурса научно-технического творчества студентов "Эврика". Новочеркасск. Мин. обр. и науки РФ, Юж.-Рос. гос. политехн. ун-т (НПИ). Новочеркасск: ЛИК. 2012. С. 122—124.

8. Бреусов А. Н., Витковский В. В., Шемшура Я. Г., Афонина Н. Б. Проект экспериментальной модельной установки с автоматическим управлением процесса подачи // Перспективы развития Восточного Донбасса: материалы IV Междунар. и 62-й Всерос. науч.-практ. конф. Шахты / ШИ (Ф) ЮРГПУ (НПИ). Новочеркасск: ЮРГПУ (НПИ). 2013. С. 62—67.

G. Sh. Khazanovich, Professor, e-mail: hazanovich@rambler.ru, **A. N. Breusov**, Postgraduate Student, Shakhty Institute (Branch) of the South-Russian Platov State Polytechnic University (NPI)", Shakhty, **S. A. Kalashnikov**, Deputy Chief Designer, JSC "Kopeysk Machine-Building Plant", Kopeysk, Russia

Mechatronic Device for Automatic Control of the Feed Shaft Loading Machine

The aim of this work is the creation of a management system feeder shaft loading machine with a pair of sweeper legs, ensuring maximum performance while protecting the mechanism from the power and thermal overloads. Outlined the need to create, a brief history of the research and development of such devices, structure, principle of operation and design. The system contains mechatronic device capable of receiving, analyzing stochastic information about the state of the drive sweeper paws and transmission loading machine and automatic generation of control actions on the feed mechanism of the machine on the stack. During operation of mechatronic module and the sensors of the main parameters control the maximum and equivalent load of the engine, the switch frequency of the slip clutch with hydraulic drive and output capacity of the loading body. The control algorithm provides for discrete change of setting levels setting device according to combinations of values of controllable factors. Visualization of information about the condition of the machine, the possibility of switching to manual control in emergency mode and when performing shunting operations. At that maximum productivity can be achieved with full use of the power and energy resources of the machine.

Keywords: loading machine is a continuous, automatic feeding of the stack mechatronic control device, the output of the machine, the maximum load of the actuator, the maximum switch frequency, the sensors of the main parameters, overload protection, setting levels setting device, the control algorithm flow

References

1. Vodyanik G. M., Drovnikov A. N., Vasil'ev Yu. A. Pogruzochnaya mashina bokovogo zahvata s avtomaticheskim reguliruemym rezhimom raboty. *Izvestiya Sev.-Kavk. nauch. centra vyssh. shk. Seriya: Tekhnicheskie nauki*. Rostov-na-Donu. 1973. N. 1. P. 29—33.

2. Hazanovich G. Sh., Lohovinin S. E., Nozdrin P. F., Urosov A. V. Pogruzochnaya mashina 1ПНБ-2, osnashchennaya regulyatorom podachi. *Gornyj zhurnal*. 1979. N. 11. P. 73—76.

3. Verklov B. A., Rovenok A. I., Zhukov B. A. Sistema avtomaticheskogo regulirovaniya nagruzki pogruzochnyh mashin nepreryvnogo dejstviya. *Gornyj zhurnal*. 1970. N. 10.

4. Kozlo V. K., Kazachkovskij N. N., Zvorykin V. V. Pogruzochnaya mashina nepreryvnogo dejstviya kak ob'ekt upravleniya. *Izvestiya vuzov. Gornyj zhurnal*. 1980. N. 6. P. 85—88.

5. Lohovinin S. E. Povyshenie ehffektivnosti pogruzochnyh mashin tipa ПНБ primeneniem ustrojstv preryvistoj podachi. *Avto-ref. dis. ... kand. tekhn. nauk*. Dnepropetrovsk. 1988, 16 p.

6. Hazanovich G. Sh., Breusov A. N., Shemshura E. A., Shemshura Ya. G. Imitacionnaya model' pogruzochnoj mashiny nepreryvnogo dejstviya s avtomaticheskim upravleniem. *Perspektivy razvitiya Vostochnogo Donbassa: materialy 61-j Vseros. nauch.-prakt. konf. Shahty / SHI (f) YURGPU (NPI)*. Novochoerkassk: YURGPU (NPI). 2012. P. 114—121.

7. Hazanovich G. Sh., Shemshura Ya. G., Breusov A. N. Modelirovanie processa pogruzki mashinoy 2ПНБ-2 pri avtomaticheskom upravlenii rezhimom podachi. *Sbornik rabot pobeditelej otboroch'nogo tura Vserossijskogo smotra-konkursa nauchno-tekhnicheskogo tvorchestva studentov "Evrika"*. Novochoerkassk. Min. obr. i nauki RF, Yuzh.-Ros. gos. politekhn. un-t (NPI). Novochoerkassk: LIK. 2012. P. 122—124.

8. Breusov A. N., Vitkovskij V. V., Shemshura Ya. G., Afonina N. B. Proekt ehksperimental'noj model'noj ustanovki s avtomaticheskim upravleniem processa podachi. *Perspektivy razvitiya Vostochnogo Donbassa: materialy IV Mezhdunar. i 62-j Vseros. nauch.-prakt. konf. Shahty / SHI (f) YURGPU (NPI)*. Novochoerkassk: YURGPU (NPI). 2013. P. 62—67.

Методы и средства повышения уровня энергосбережения и энергоэффективности на горных предприятиях

Обоснована необходимость внедрения комплексных мероприятий по повышению уровня энергосбережения и энергетической эффективности на электрических сетях горных предприятий. Показана целесообразность проведения энергетических обследований для определения наиболее эффективных мероприятий по повышению уровня энергосбережения и энергетической эффективности. Определены основные типы мероприятий по повышению уровня энергосбережения и энергетической эффективности. Приведены основные технические средства и решения, направленные на повышение уровня энергосбережения и энергетической эффективности в условиях горных предприятий. Среди представленных технических средств и решений важнейшими являются: методы и средства автоматического секционирования электрических сетей, повышения качества электрической энергии, гарантированное энергообеспечение от альтернативных и возобновляемых источников энергии, быстродействующий автоматический ввод резерва. Показана необходимость непрерывного мониторинга результатов внедрения технических средств и решений, направленных на повышение уровня энергосбережения и энергетической эффективности.

Ключевые слова: энергосбережение, энергоэффективность, горный, альтернативный, возобновляемый, энергетическое обследование, энергетический паспорт

Современная законодательная база в области энергосбережения и энергоэффективности

В современных экономических условиях ключевым фактором модернизации промышленного производства является комплексное внедрение энергосберегающих технологий и повышение энергетической эффективности. В связи с этим был принят Федеральный Закон № 261-ФЗ "Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации", целью которого является создание правовых, экономических и организационных основ стимулирования энергосбережения и повышения энергетической эффективности. Закон также призван на государственном уровне регулировать различные аспекты энергосбережения и энергетической эффективности. Закон содержит следующие разделы [1]:

- государственное регулирование в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности;
- обеспечение энергетической эффективности при обороте товаров;
- обеспечение энергетической эффективности зданий, строений, сооружений;
- обеспечение учета используемых энергетических ресурсов и применения приборов учета используемых энергетических ресурсов при осуществлении расчетов за энергетические ресурсы;

- энергетическое обследование, "Энергетический паспорт" объекта;
- энергосервисные договоры (контракты);
- мероприятия по энергосбережению, обязательные для осуществления государственными организациями;
- изменения, внесенные Законом № 261-ФЗ в другие законодательные акты.

Таким образом, создана правовая база для комплексной модернизации всех сфер производства в целях обеспечения надлежащего уровня энергосбережения и повышения энергетической эффективности.

Федеральный Закон № 261-ФЗ также предписывает предприятиям всех отраслей промышленности проводить энергетическое обследование. Основными целями энергетических обследований является получение объективных данных об объеме используемых энергетических ресурсов, определение показателей энергетической эффективности и потенциала энергосбережения, разработка мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности и оценка их стоимости.

Энергетическое обследование, согласно принятой Госэнергонадзором методике, делится на следующие уровни: предварительный, первый и второй.

Предварительное обследование проводится с целью понять, нужно ли предприятию более детальное обследование. Этот уровень подразумевает

исключительно анализ существующей на предприятии документации, определение доли затрат на энергопользование в общей структуре расходов и выявление динамики изменения этой доли затрат. Если указанная доля не превышает 5...10 %, энергетическое обследование можно отложить. Если объем расходов находится в пределах 11...15 %, проводить обследование рекомендуется. При объеме затрат 16...20 % энергетическое обследование необходимо провести неотложно. В конце этого этапа составляется соответствующая программа проведения будущего обследования, которая согласуется с руководством. Учитываются пожелания о приоритетности проведения обследования на определенных участках и пр.

Первый уровень энергетического обследования, который следует за предварительным, включает в себя изучение отчетной документации по ремонтам, испытаниям, наладке, энергосбережению, анализ проектной документации и всех планируемых перспективных программ, просмотр графиков нагрузки и счетов от поставщиков энергоресурсов. В результате определяется, доля каких энергоресурсов превалирует в общем потреблении, устанавливаются сезонные изменения в потреблении, общая стоимость затрат предприятия. Эта информация помогает составить перечень приоритетных направлений дальнейшей работы по энергосбережению.

В ходе *второго уровня* энергетического обследования составляется программа по энергосбережению на предприятии. Для этого проводится комплексное обследование предприятия, составляется схема технологического процесса в виде диаграммы, выявляется список основных потребителей, делается расчет энергопотребления и составляются балансы потребления энергии.

Составленный по результатам обследования энергетический паспорт — это первый шаг на пути внедрения на предприятии энергосберегающих технологий, целью которых является повышение уровня энергоэффективности предприятия и ежегодное снижение энергозатрат.

Энергетический паспорт предприятия является официальным документом, который отражает фактическое состояние энергетического комплекса предприятия. Этот документ должен содержать следующие разделы:

- общие сведения о продукции и потреблении энергетических ресурсов предприятия;
- уровень оснащенности приборами учета используемых энергетических ресурсов — электриче-

ства, тепла, газа, воды, жидкого органического топлива;

- объем используемых энергетических ресурсов и его изменение за последние 5 лет;
- уровень использования электрической энергии, тепловой энергии, котельного топлива, моторного топлива, вторичных энергетических ресурсов;
- краткую характеристику зданий и сооружений;
- сведения о показателях энергетической эффективности;
- данные о величине потерь переданных энергетических ресурсов (для организаций, осуществляющих передачу энергетических ресурсов);
- потенциал энергосбережения, в том числе оценку возможной экономии энергетических ресурсов в натуральном выражении;
- перечень типовых мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности.

С учетом особенностей энергообеспечения для условий горных предприятий энергетический паспорт должен содержать ряд дополнительных сведений, речь о которых пойдет ниже.

Организация мер по энергосбережению и повышению энергетической эффективности

В настоящее время существенный вклад в суммарный объем промышленного производства в России вносят горные предприятия по добыче, переработке и транспортировке полезных ископаемых. При этом около 50 % от себестоимости добытого и переработанного полезного ископаемого составляют расходы на различные виды энергоносителей, в том числе на электрическую энергию. Поэтому именно в условиях предприятий данного сектора промышленности, которые работают на полную мощность и на которых находит эффективное применение современное отечественное и зарубежное горно-технологическое оборудование, наиболее целесообразно осуществлять и внедрять комплексные мероприятия по повышению уровня энергосбережения и энергетической эффективности [2, 3]. Важную роль в системе энергосбережения играет внедрение комплекса мероприятий по формированию энергетической политики и планированию, структура которого приведена на рисунке, в условиях горных предприятий.

Энергетическая политика предприятия включает в себя внедрение системы энергетического менеджмента, периодическое проведение энерге-

тических обследований, разработку энергетического паспорта и формирование программы энергосбережения и повышения энергоэффективности, где указываются все необходимые мероприятия по повышению уровня энергосбережения и энергоэффективности. После утверждения программы в рамках энергетического планирования осуществляется ее апробация, включая обучение сотрудников и непрерывный мониторинг текущих показателей энергосбережения и энергоэффективности. По результатам апробации программы с учетом выявленных недостатков и развития производства осуществляется ее корректировка.

В рамках дальнейшего совершенствования системы инструментов повышения энергетической эффективности в Российской Федерации в настоящее время разрабатывается методика перехода от заполнения энергетических паспортов к заполнению деклараций об объеме совокупных затрат потребления энергетических ресурсов организацией.

Декларация об объеме совокупных затрат потребления энергетических ресурсов заполняется отдельно по каждому зданию, строению и сооружению и включает в себя следующую информацию:

- сведения об организации;
- утвержденную программу энергосбережения организации;
- сведения об объекте;
- сведения о системах энергопотребления;
- сведения об использовании вторичных ресурсов, альтернативных топлив и возобновляемых источников энергии;
- информацию по внедрению энергосберегающих мероприятий в базовом году и планированию в текущем году.

Также одним из ключевых изменений является возможность не проводить обязательные энергетические обследования. Если совокупные затраты на потребление природного газа, мазута, тепловой энергии, угля, электрической энергии, за исключением моторного топлива, не превышают утвержденный Правительством Российской Федерации уровень, то достаточно будет предоставить информацию об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, или, иначе говоря, энергетическую декларацию.



Система организации мер по энергосбережению и повышению энергоэффективности на промышленном предприятии

Классификация мероприятий по повышению уровня энергосбережения и энергоэффективности

С технической точки зрения мероприятия по энергосбережению и энергетической эффективности можно разделить на три группы:

- энергетические;
- технологические;
- комбинированные.

Энергетические мероприятия связаны с модернизацией инженерных сетей, по которым энергия передается к потребителю, изменением режимов их работы и пропускной способности для более эффективной передачи и распределения энергии технологическим потребителям.

Технологические мероприятия подразумевают под собой изменение параметров и режима работы технологического процесса предприятия, замену того или иного технологического оборудования на более экономичное и эффективное с точки зрения уровня потребления энергии и производительности по объему добываемого, транспортируемого или перерабатываемого полезного ископаемого. При этом существующие энергетические сети либо не изменяются, либо подвергаются незначительной реконструкции, не влияющей на общий режим энергообеспечения.

Комбинированные мероприятия включают в себя изменение структуры, параметров, режимов работы как энергетической сети, так и технологического процесса предприятия.

Технологические и энергетические мероприятия по энергосбережению и энергетической эффективности могут внедряться как по отдельности, так и совместно. Если сравнивать эффективность и степень применимости энергетических и технологических мероприятий, то очевидно, что первые обладают большей универсальностью, чем вторые. Технологические мероприятия, разработанные для условий одной отрасли, могут быть частично применимы или полностью неприменимы в другой отрасли промышленности. При этом для условий горных предприятий технологические мероприятия практически полностью определяются способом разработки месторождения: открытым или подземным, а также горно-геологическими условиями. Энергетические сети с этой точки зрения обладают более высокой степенью унификации и универсальности, поэтому наиболее эффективным представляется внедрение энергетических мероприятий по энергосбережению и энергетической эффективности для горных предприятий. При этом энергетические мероприятия для условий карьеров и шахт могут различаться из-за различий в структуре систем электроснабжения и электрических сетей.

Современные перспективные технические средства и решения для повышения уровня энергосбережения и энергетической эффективности

За последние 15 лет авторами проведен ряд теоретических и экспериментальных исследований в условиях горных предприятий, по результатам которых выявлены следующие основные направления повышения уровня энергосбережения и энергетической эффективности:

- управление структурой систем электроснабжения в зависимости от режимов энергопотребления и энергообеспечения;
- повышение качества электрической энергии и обеспечение электромагнитной совместимости электрооборудования;
- управление режимом напряжения;
- обеспечение гарантированного и бесперебойного режима энергообеспечения.

Управление структурой систем электроснабжения горных предприятий наиболее эффективно осуществлять с помощью автоматических пунктов секционирования (реклоузеров). Данные уст-

ройства обеспечивают изменение конфигурации сети путем переключения различных ее участков в зависимости от наличия повреждений и аварийных ситуаций. Также реклоузеры могут использоваться совместно с тиристорными коммутаторами для более эффективного управления потоками энергии.

Для повышения качества электрической энергии в условиях горных предприятий в части компенсации высших гармоник тока и напряжения, создаваемых системами частотно-регулируемого электропривода технологического оборудования, целесообразно использовать параллельные активные фильтры и гибридные фильтрокомпенсирующие устройства. Гибридные фильтры сочетают в себе преимущества активных и пассивных фильтров, что позволяет существенно расширить область их применения при изменении конфигурации систем электроснабжения [4, 5].

Управление режимом напряжения в условиях горных предприятий целесообразно осуществлять силовыми трансформаторами, оснащенными устройствами регулирования под нагрузкой. При этом алгоритм работы указанных устройств при переключении отпаек обмотки трансформатора эффективно строить с использованием теории нечеткой логики при выборе присоединения, определяющего режим напряжения [6].

Для обеспечения гарантированного и бесперебойного энергоснабжения наиболее ответственных потребителей в условиях горных предприятий необходимо использовать источники бесперебойного питания и устройства аварийного энергоснабжения на основе альтернативных и возобновляемых источников энергии совместно с устройствами быстродействующего автоматического ввода резерва. Востребованность такого решения подтверждается тем, что уровень надежности существующих централизованных энергосистем не соответствует требованиям современной нормативной документации в части вероятности бездефицитной работы [7].

Внедрение перечисленных энергосберегающих и энергоэффективных технологий должно сопровождаться комплексным анализом и мониторингом эффекта от их применения [8, 9]. Система энергосбережения на предприятии должна постоянно контролировать процесс энергопотребления и при необходимости вносить соответствующие коррективы в программу энергосбережения. Результаты мониторинга должны отражаться на нормах потребления энергетических ресурсов при произ-

водстве продукции, а также на планировании энергетических затрат горного предприятия.

Таким образом, можно сформулировать основные требования к современным системам электроснабжения горных предприятий с точки зрения повышения уровня энергосбережения и энергоэффективности:

- обеспечение бесперебойного электроснабжения ответственных технологических потребителей вне зависимости от режима работы централизованной предвключенной сети [7];
- обеспечение уровня качества электрической энергии, электромагнитной и электромеханической совместимости электрооборудования, соответствующего нормативным требованиям отечественных и международных стандартов в данной области [10];
- возможность автоматического секционирования внутри системы для выявления повреждений и изменения режима работы с использованием реклоузеров и быстродействующих устройств автоматического ввода резерва;
- возможность комбинированного использования альтернативных возобновляемых источников энергии в качестве резерва для обеспечения гарантированного и бесперебойного режима энергообеспечения [11, 12];
- возможность регулирования уровня напряжения на различных ступенях системы в зависимости от режима работы отдельных присоединений и технологических потребителей.

Комплексное решение поставленных задач возможно путем изменения конфигурации силовой части элементов системы электроснабжения, необходимо не только оснащать все элементы блоками, устройствами и системами управления, но и увязывать их работу в единую автоматизированную систему управления интеллектуализированной энергетической системы с ее интеграцией в автоматизированную систему управления технологическим процессом горного предприятия [13].

Таким образом, приведенные технические средства и решения, а также набор функций и решаемых задач должны служить основой любых мероприятий по повышению уровня энергосбережения и энергетической эффективности как в централизованных электрических сетях горных предприятий, так и в энергосистемах с распределенной генерацией. Также указанные меры должны учитываться при реконструкции существующих и проектировании новых систем электроснабжения горных предприятий.

Результаты исследований, приведенные в данной статье, получены в рамках реализации гранта СП-671.2015.1 "Энергоэффективная система повышения качества электрической энергии в условиях микросетей с распределенной генерацией на основе альтернативных и возобновляемых источников энергии" стипендии Президента Российской Федерации.

Список литературы

1. **Федеральный закон** от 23.11.2009 № 261-ФЗ "Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации" // Российская газета. 2009. Федеральный выпуск № 5050. С. 19.
2. **Государственная программа** Российской Федерации "Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года" // Министерство энергетики Российской Федерации. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 27 декабря 2010 г. № 2446-р. 2011. Опубликовано 27.01.2011. <http://minenergo.gov.ru/activity/energoeffektivnost/documents>.
3. **Государственная программа** Российской Федерации "Энергоэффективность и развитие энергетики". Опубликовано 10.04.2013. <http://minenergo.gov.ru/up-load/iblock/d6c>.
4. **Абрамович Б. Н., Полищук В. В., Сычев Ю. А.** Система контроля и повышения качества электрической энергии в сетях предприятий минерально-сырьевого комплекса // Горное оборудование и электромеханика. 2009. № 9. С. 42—47.
5. **Абрамович Б. Н., Муратбаекеев Э. Х., Медведев А. В., Старостин В. В.** Минимизация ущерба при добыче нефти из-за кратковременных перерывов электроснабжения // Промышленная энергетика. 2009. № 7. С. 25—28.
6. **Тарасов Д. М., Волошкин М. М.** Использование нечеткой логики при управлении РПН трансформаторов // Политехнический симпозиум "Молодые ученые — промышленности Северо-Западного региона". СПб.: Изд-во СПбГПУ. 2003. С. 47—48.
7. **Овсейчук В. А.** Надежность и качество электроснабжения потребителей. Обоснование нормирования // Новости электротехники. 2013. № 3 (81). С. 50—53.
8. **Евсеев А. Н.** Режимное взаимодействие между энергосистемой и потребителями электроэнергии нефтегазодобывающего комплекса. СПб.: Нестор, 2006. 152 с.
9. **Хачатурян В. А.** Основы применения интеллектуального анализа данных в задачах управления электроснабжением предприятия // Записки Горного института. 2001. Т. 151. С. 111—115.
10. **Абрамович Б. Н., Сычев Ю. А., Гульков Ю. В.** Системы коррекции кривых тока и напряжения в электротехнических комплексах нефтедобывающих предприятий // Энергетика в нефтегазодобыче. 2005. № 1—2. С. 43—45.
11. **Бельский А. А., Яковлева Э. В.** Обоснование возможности использования возобновляемых источников энергии для энергоснабжения объектов минерально-сырьевого комплекса // Альтернативная энергетика и экология. 2013. № 2 (120). С. 63—67.

12. **Турьшева А. В.** Электроснабжение объектов нефтегазодобычи отдаленных районов с использованием автономных источников / Освоение минеральных ресурсов Севера: проблемы и решения: Тр. 11-й Междунар. науч.-практ. конф. Воркута: Изд-во ВГИ, 2013. С. 516—519.

13. **Абрамович Б. Н., Сычев Ю. А., Устинов Д. А., Фёдоров А. В., Прохорова В. Б.** Современные проблемы и перспективы развития интеллектуализации и автоматизации энергосистем предприятий минерально-сырьевого комплекса // Горное оборудование и электромеханика. 2014. № 9. С. 6—11.

B. N. Abramovich, Professor, e-mail: babramov@mail.ru,
Yu. A. Sychev, Associate Professor, e-mail: sychev_yura@mail.ru,
Yu. L. Gukovskiy, Associate Professor, e-mail: spmi_energo@mail.ru,
National Mineral Resources University "University of Mines", Saint Petersburg, Russia

The Means and Methods of Power Saving and Efficiency Increasing in Mining Enterprises

The necessity of applying of complex energy saving and efficiency increasing measures in power supply systems of mining enterprises is proved. The reasonability of energy examination for detecting the most effective energy saving and efficiency increasing measures is shown. The base measures for energy saving and efficiency increasing are detected. The base technical means and measures for energy saving and efficiency increasing in conditions of mining enterprises are presented. Among presented technical means and measures the most important are: means and measures for automated sectioning of distribution power networks, power quality rising, guaranteed power supply from alternative and renewable energy sources, high-speed automatic load transfer. The necessity of continuous monitoring of energy saving and efficiency increasing means and measures applying is shown.

Keywords: energy saving, energy efficiency, mining, alternative, renewable, energy examination, energy certificate

References

1. **Federal'nyj zakon** ot 23.11.2009 N. 261-FZ "Ob jenergosberezenii i o povyshenii jenergeticheskoy jeffektivnosti i o vnesenii izmenenij v otdel'nye zakonodatel'nye akty Rossijskoj Federacii". *Rossijskaja gazeta*. 2009. Federal'nyj vypusk. N. 5050. P. 19.

2. **Gosudarstvennaja** programma Rossijskoj Federacii "Jenergosberezenie i povyshenie jenergeticheskoy jeffektivnosti na period do 2020 goda". Ministerstvo jenergetiki Rossijskoj Federacii. Uтверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 27 декабря 2010. N. 2446-р. 2011. Опубликовано 27.01.2011. <http://minenergo.gov.ru/activity/energoeffektivnost/documents>.

3. **Gosudarstvennaja** programma Rossijskoj Federacii "Jenergojeffektivnost' i razvitie jenergetiki". Опубликовано 10.04.2013. <http://minenergo.gov.ru/upload/iblock/d6c>.

4. **Abramovich B. N., Polishhuk V. V., Sychev Ju. A.** Sistema kontrolja i povyshenija kachestva jelektricheskoy jenerгии v setjah predpriyatij mineral'no-syr'evogo kompleksa. *Gornoe oborudovanie i jelektromehaniika*. 2009. N. 9. P. 42—47.

5. **Abramovich B. N., Muratbakeev Je. H., Medvedev A. V., Starostin V. V.** Minimizacija ushherba pri dobyche nefti iz-za kratkovremennyh pereryvov jelektrosnabzhenija. *Promyshlennaja jenergetika*. 2009. N. 7. P. 25—28.

6. **Tarasov D. M., Voloshkin M. M.** Ispol'zovanie nechetkoj logiki pri upravlenii RPN transformatorov // Politehnicheskij simpozium "Molodye uchenye — promyshlennosti Severo-Zapadnogo regiona". SPb.: *Izd-vo SPbGPU*. 2003. P. 47—48.

7. **Ovsejchuk V. A.** Nadezhnost' i kachestvo jelektrosnabzhenija potrebitel'ej. Obosnovanie normirovanija. *Novosti jelektrotehniki*. 2013. N. 3 (81). P. 50—53.

8. **Evseev A. N.** Rezhimnoe vzaimodejstvie mezhdru jenergosistemoj i potrebiteljami jelektrojenerгии neftegazodobyvajushhego kompleksa. SPb.: *Nestor*, 2006. 152 p.

9. **Hachaturjan V. A.** Osnovy primenenija intellektual'nogo analiza dannyh v zadachah upravlenija jelektrosnabzheniem predpriyatija. *Zapiski Gornogo instituta*. 2001. V. 151. P. 111—115

10. **Abramovich B. N., Sychev Ju. A., Gul'kov Ju. V.** Sistemy korrekcii krivyh toka i naprjazhenija v jelektrotehnicheskikh kompleksah neftegazodobyvajushhij predpriyatij. *Jenergetika v neftegazodobyche*. 2005. N. 1—2. P. 43—45.

11. **Bel'skij A. A., Jakovleva Je. V.** Obosnovanie vozmozhnosti ispol'zovanija vozobnovljaemyh istochnikov jenerгии dlja jenergosnabzhenija ob"ektov mineral'no-syr'evogo kompleksa. *Alternativnaja jenergetika i jekologija*. 2013. N. 2 (120). P. 63—67.

12. **Turyshcheva A. V.** Jelektrosnabzhenie ob"ektov neftegazodobychi ot dalennyh rajonov s ispol'zovaniem avtonomnyh istochnikov. Osvoenie mineral'nyh resursov Severa: problemy i reshenija: *Tr. 11-j mezhdunar. nauch.-praktich. konf.* Воркута: Изд-во ВГИ. 2013. P. 516—519.

13. **Abramovich B. N., Sychev Ju. A., Ustinov D. A., Fjodorov A. V., Prohorova V. B.** Sovremennye problemy i perspektivy razvitija intellektualizacii i avtomatizacii jenergosistem predpriyatij mineral'no-syr'evogo kompleksa. *Gornoe oborudovanie i jelektromehaniika*. 2014. N. 9. P. 6—11.

УДК 622.73

А. П. Комиссаров, д-р техн. наук, проф., Ю. А. Лагунова, д-р техн. наук, проф.,

В. С. Шестаков, канд. техн. наук, проф., УГГУ, г. Екатеринбург,

А. В. Орочко, канд. техн. наук, гл. инж., ОАО "Федоровскнефть", г. Сургут

E-mail: yu.lagunova@mail.ru

Особенности рабочего процесса щековых дробилок с простым и сложным качанием подвижной щеки

Выбор рациональных конструктивных и режимных параметров щековых дробилок, обеспечивающих полное использование технических возможностей оборудования в заданных условиях эксплуатации, является одной из главных задач при проектировании оборудования. В настоящей работе на основе анализа механизмов щековых дробилок с простым и сложным качанием подвижной щеки выявлены кинематические и технологические особенности рабочего процесса дробилок. Показано, что в дробилке со сложным качанием щеки длительность отхода различных частей подвижной щеки от неподвижной щеки превышает длительность подхода. При этом скорость прохождения дробимого материала по камере дробления увеличивается. Выполненный силовой анализ механизма дробилки со сложным качанием щеки показал, что рабочий цикл включает две фазы дробления — в начале и в конце цикла. Получена зависимость для определения максимально возможного значения силы дробления для дробилки со сложным качанием подвижной щеки. Результаты анализа механизмов щековых дробилок позволяют осуществить синтез конструктивных схем с рациональными режимными параметрами.

Ключевые слова: щековые дробилки с простым и сложным качанием подвижной щеки; кинематический и силовой анализ передаточных механизмов

Решение задачи исследования

Передаточные механизмы щековых дробилок с простым и сложным качанием подвижной щеки представляют собой механизмы с низшими кинематическими парами:

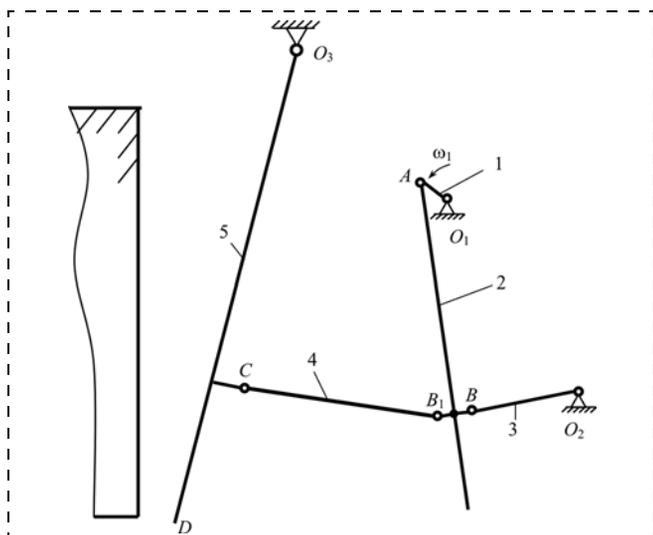


Рис. 1. Кинематическая схема щековой дробилки с простым качанием подвижной щеки:
1 — эксцентрик; 2 — шатун; 3, 4 — распорная плита; 5 — подвижная щека; ω_1 — угловая скорость эксцентриквого вала

матическими парами: кривошипно-коромысловый (рис. 1) и кривошипно-шатунный (рис. 2).

Структурная схема механизма со сложным качанием подвижной щеки отличается простотой исполнения за счет исключения двух звеньев. Раз-

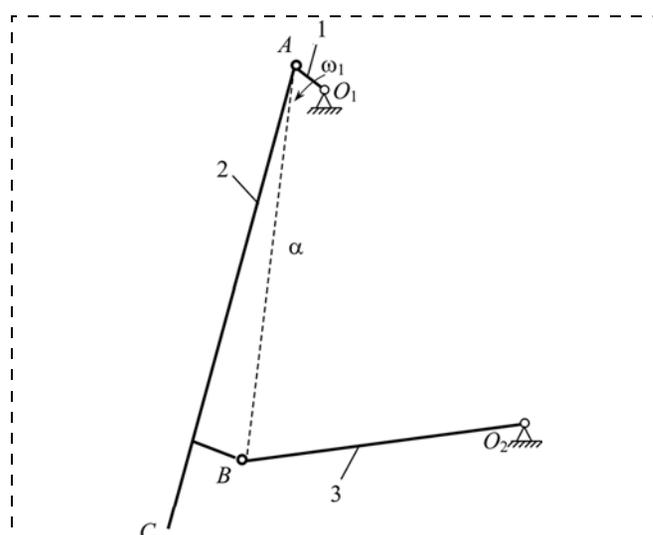


Рис. 2. Кинематическая схема механизма дробилки со сложным качанием подвижной щеки:
1 — эксцентрик; 2 — подвижная щека; 3 — распорная плита, ω_1 — угловая скорость эксцентриквого вала

личия в кинематических схемах механизмов и законах движения подвижной щеки определяют кинематические и технологические особенности рабочего процесса дробилок. Так, в дробилках с простым качанием щеки время подхода подвижной щеки к неподвижной щеке (рабочий ход) равно времени отхода (холостой ход). В дробилках со сложным качанием щеки "холостой ход занимает не половину оборота эксцентрикового вала, а значительно меньшую часть" [1, 2].

На основе кинематического и силового анализа передаточного механизма дробилки со сложным качанием щеки определены режимные параметры дробилки и выполнена сравнительная оценка параметров дробилок.

В таблице приведены значения ширины проходных отверстий камеры дробления для различных сечений по высоте (всего 11 значений) и различных

значений угла φ поворота эксцентриковой рамы с шагом 10° значений в течение цикла работы.

Из таблицы следует, что ширина загрузочного отверстия (отметка 3700 мм) изменяется от максимального значения $B_{\max} = 1249$ мм до минимального значения $B_{\min} = 1218$ мм. Величина подхода подвижной щеки составляет $\Delta B = 31$ мм при изменении угла поворота эксцентрикового вала φ от 340 до 140° . Длительность холостого хода (в углах поворота эксцентрикового вала) составляет 190° при изменении угла φ от 150 до 340° .

Ширина проходного отверстия в средней части дробилки (отметка 2350 мм) изменяется от $B_{\text{ср.макс}} = 713$ мм до $B_{\text{ср.мин}} = 690$ мм. Величина подхода щеки в средней части дробилки составляет 23 мм при изменении угла φ от 300 до 90° . Длительность холостого хода в средней части дробилки составляет 190° при изменении угла φ от 110 до 300° . Ши-

Изменение ширины проходного отверстия, мм, по сечениям

$\varphi, ^\circ$	Значение по высоте, мм										
	3700	3430	3160	2890	2620	2350	2080	1810	1540	1270	1000
0	1246	1138	1029	921	812	704	595	487	378	270	161
10	1245	1136	1027	919	810	702	593	484	376	267	159
20	1243	1134	1025	917	808	700	591	482	374	265	157
30	1240	1132	1023	915	806	698	589	481	372	264	155
40	1238	1129	1021	913	804	696	587	479	371	262	154
50	1235	1127	1019	911	802	694	586	478	370	261	153
60	1233	1125	1017	909	801	693	585	477	369	261	153
70	1230	1122	1015	907	799	692	584	476	369	261	153
80	1227	1120	1013	905	798	691	583	476	369	262	154
90	1225	1118	1011	904	797	690	583	476	369	262	155
100	1223	1116	1010	903	797	690	583	477	370	264	157
110	1221	1115	1009	903	796	690	584	478	372	265	159
120	1220	1114	1008	902	797	691	585	479	373	267	162
130	1219	1113	1008	902	797	691	586	481	375	270	164
140	1218	1113	1008	903	798	693	587	482	377	272	167
150	1218	1113	1008	904	799	694	589	484	379	275	170
160	1219	1114	1009	905	800	696	591	486	382	277	173
170	1219	1115	1011	906	802	697	593	489	384	280	175
180	1221	1116	1012	908	804	699	595	491	386	282	178
190	1222	1118	1014	910	805	701	597	493	389	284	180
200	1224	1120	1016	912	807	703	599	495	391	286	182
210	1227	1122	1018	914	809	705	601	497	392	288	184
220	1229	1125	1020	916	811	707	603	498	394	290	185
230	1232	1127	1023	918	813	709	604	500	395	290	186
240	1234	1130	1025	920	815	710	605	501	396	291	186
250	1237	1132	1027	922	817	711	606	501	396	291	186
260	1240	1134	1029	923	818	712	607	502	396	291	185
270	1242	1136	1030	925	819	713	607	501	396	290	184
280	1244	1138	1032	926	819	713	607	501	395	289	182
290	1246	1139	1033	926	820	713	607	500	393	287	180
300	1247	1140	1033	927	820	713	606	499	392	285	178
310	1248	1141	1034	926	819	712	604	497	390	283	175
320	1249	1141	1034	926	818	711	603	495	388	280	172
330	1249	1141	1033	925	817	709	601	493	385	277	169
340	1249	1140	1032	924	816	708	599	491	383	275	167
350	1248	1139	1031	922	814	706	597	489	381	272	164

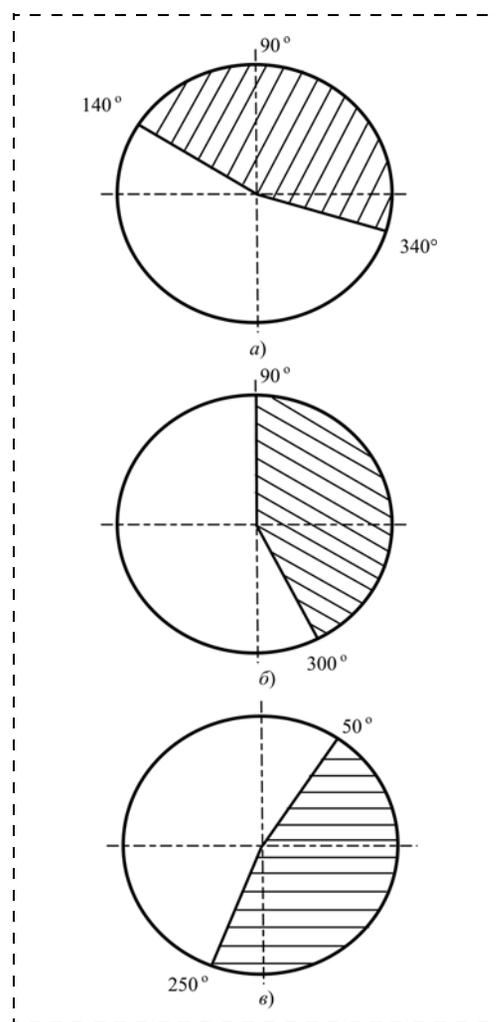


Рис. 3. Зоны подходов частей подвижной щеки к неподвижной щеке (в углах поворота эксцентрикового вала): а — уровень загрузочного отверстия; б — средняя часть; в — уровень разгрузочной щеки

рина разгрузочной щели (отметка 1000 мм) изменяется от $b_{\max} = 186$ мм до $b_{\min} = 153$ мм.

Величина подхода щеки в нижней части дробилки составляет $\Delta b = 33$ мм при изменении угла φ от 250 до 50° . Длительность холостого хода составляет 200° при изменении угла φ от 50 до 250° .

На рис. 3 представлены зоны подходов частей подвижной щеки к неподвижной щеке.

Суммарная длительность подходов частей подвижной щеки составит 250° (от 250 до 140°). При

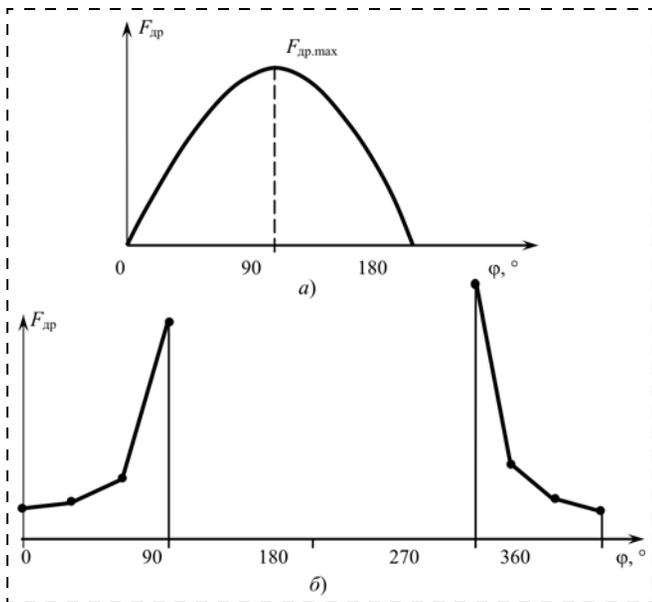


Рис. 4. Диаграммы изменения сил дробления: *a* — дробилка с простым качанием подвижной щеки; *б* — дробилка со сложным качанием подвижной щеки; $F_{др}$ — сила дробления; φ — угол поворота эксцентрикового вала

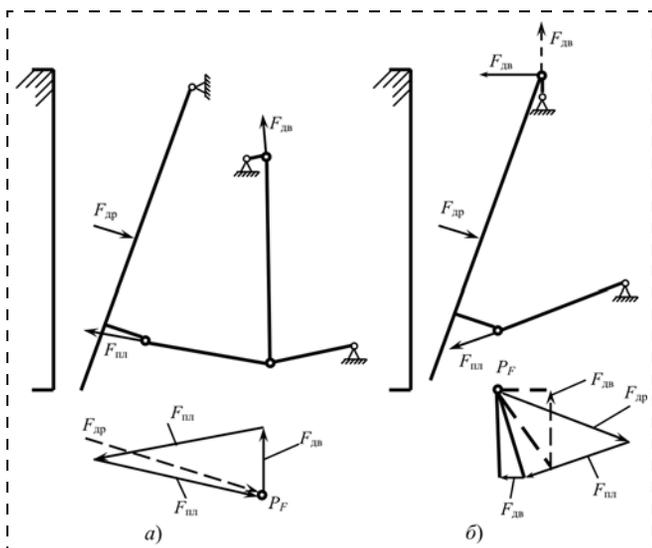


Рис. 5. Схемы нагружения дробилок: *a* — дробилка с простым качанием подвижной щеки; *б* — дробилка со сложным качанием подвижной щеки; $F_{дв}$ — движущая сила; $F_{пл}$ — сила в распорной плите; $F_{др}$ — сила дробления; P_F — полюс плана сил

этом длительность отхода частей подвижной щеки на всех уровнях (от загрузочного отверстия до разгрузочной щели) превышает длительность подхода. В результате увеличиваются скорость прохождения дробимого материала по камере дробления, а также высота и объем выпадающей призмы материала. Выполненный силовой анализ механизма дробилки показал, что рабочий цикл дробилки включает две фазы дробления — в начале и конце цикла.

На рис. 4 приведена диаграмма изменения сил дробления для дробилок с простым и сложным качанием подвижной щеки, на рис. 5 — схемы нагружения дробилок.

В дробилке с простым качанием щеки максимально возможное значение силы дробления (или силы сопротивления материала дроблению) определяется при прочих равных условиях углом наклона распорных плит. В дробилке со сложным качанием щеки величина силы дробления зависит от многих переменных и, в частности, от угла поворота эксцентрикового вала.

Получена зависимость для определения максимально возможного значения силы дробления

$$F_{др} = - \frac{P_{дв} \eta}{\omega_1 e t \sin(\delta + \gamma - \varphi)}, \quad (1)$$

где $P_{дв}$ — мощность двигателя; η — КПД механизма дробилки; ω_1 — угловая скорость эксцентрикового вала; e — эксцентриситет вала; δ — угол наклона распорной плиты; t и γ — параметры, зависящие от положения подвижной щеки (рис. 6).

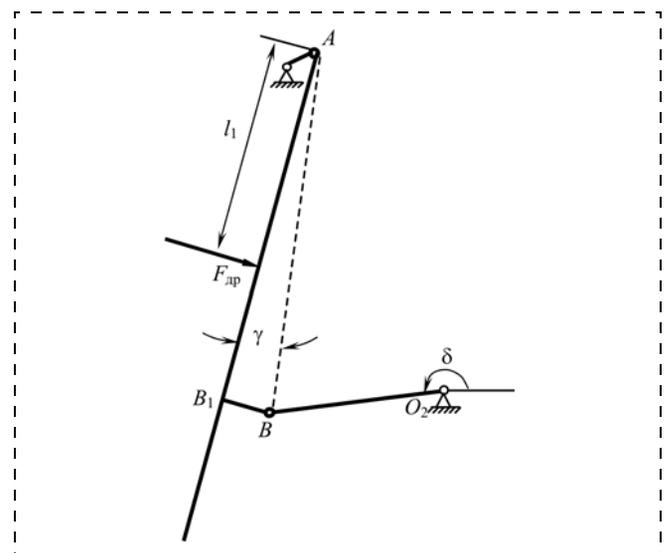


Рис. 6. Схема к определению силовых параметров: AB_1 — ось подвижной щеки; B — точка крепления распорной плиты; δ — угол наклона распорной плиты; $F_{др}$ — сила дробления; l_1 — плечо действия силы дробления

Параметр t равен

$$t = \sqrt{1 + K^2 + 2K \cos(\alpha + \delta)}, \quad (2)$$

где $K = -\frac{l_1}{AB \cos(\alpha + \delta - \gamma)}$; α — угол захвата (угол наклона подвижной щеки); l_1 — плечо действия силы дробления; AB и γ — размеры подвижной щеки.

Параметр y равен

$$y = \arcsin\left(-\frac{\sin(\alpha + \delta)}{t}\right). \quad (3)$$

Наличие двух фаз дробления, соответствующих зонам подхода частей подвижной щеки, обеспечивает рост удельных нагрузок, действующих на верхней и нижней частях щеки, и, в конечном счете, повышение эффективности рабочего процесса.

Результаты исследования

Установлено, что щековая дробилка со сложным качанием подвижной щеки отличается повышенной кинематической подвижностью ввиду разных скоростей перемещения отдельных частей подвижной щеки.

В результате достигается увеличение скорости перемещения дробимого материала в камере дробления, а также возрастают высота и объем выпадающей призмы материала.

Показано, что рабочий процесс дробилки со сложным качанием щеки характеризуется наличием двух фаз дробления. При этом обеспечивается рост удельных нагрузок на различных частях щеки.

Основным фактором, определяющим эффективность функционирования дробильного оборудования, являются действующие рабочие нагрузки.

В дробилке со сложным качанием подвижной щеки обеспечивается повышение эффективности рабочего процесса без установки маховика за счет увеличения удельных рабочих нагрузок.

Список литературы

1. Андреев С. Е., Зверевич В. В., Перов В. А. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых. М.: Недра, 1980. 395 с.
2. Лагунова Ю. А., Комиссаров А. П., Шестаков В. С. и др. Машиностроение. Энциклопедия. Горные машины. Т. IV-24. М.: Машиностроение. 2011. 496 с.

A. P. Komissarov, Professor, Yu. A. Lagunova, Professor, e-mail: yu.lagunova@mail.ru,
V. S. Shestakov, Professor, Ural State University of Mining, Ekaterinburg,
A. V. Orochko, Ch. Engineer "Fedorovskneft", Surgut, Russia

Features Working Process Jaw Crushers with Simple and Complex Swing Movable Jaw

Choice of rational design and operational parameters of jaw crushers, makes full use of the technical capabilities of the equipment within the specified operating conditions, is one of the main objectives in the design of equipment. In this paper, based on the analysis of the mechanisms of jaw crushers with simple and complex swing movable jaw identified kinematic and technological features of the workflow crushers. It is shown that in a grinder with a complex swing cheek duration of withdrawal of various parts of the movable cheek by cheek exceeds the duration of the fixed approach. In this case, the rate of passage of crushed material to the crushing chamber increases. An analysis mechanism configured power grinder with a complex oscillation cheeks showed that the duty cycle comprises two phases crushing — at the beginning and end of the cycle. The dependence to determine the maximum possible value for the crusher crushing force with a complex swing movable jaw. The results of analysis of the mechanisms of jaw crushers allow a synthesis of design schemes with rational regime parameters.

Keywords: jaw crushers with simple and complex swing movable jaw; kinematic analysis and power transmission mechanisms

References

1. Андреев С. Е., Зверевич В. В., Перов В. А. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых. М.: Недра, 1980. 395 с.

2. Lagunova Yu. A., Komissarov A. P., Shestakov V. S. i dr. Mashinostroenie. Jenciklopedija. Gornye mashiny. T. IV-24. М.: Mashinostroenie, 2011. 496 p.

УДК 622.23.05

В. И. Болобов, д-р техн. наук, проф., **В. С. Бочков**, канд. техн. наук, асс.,
Г. А. Юсупов, асп., **В. Ю. Бенедик**, асп., НМСУ "Горный", г. Санкт-Петербург

E-mail: boloboff@mail.ru; vovabochkov@mail.ru; chuma-06@bk.ru; benedikw@bk.ru

Оценка возможности использования способа твердофазного спекания для получения биметаллической структуры корпуса породоразрушающего резца

Срок службы породоразрушающих резцов может быть существенно повышен изготовлением оболочки их корпуса из высокотвердой износостойкой низколегированной ферритной стали, а сердцевины, для обеспечения стойкости конструкции к ударным нагрузкам, — из высоковязкой аустенитной стали. Для придания корпусу биметаллической структуры предлагается метод, основанный на совместной высокотемпературной пластической деформации материалов его оболочки и сердцевины за счет разницы в коэффициентах термического расширения используемых сталей.

Ключевые слова: породоразрушающий резец, корпус, биметаллическая структура, пластическая деформация, коэффициент термического расширения

В настоящее время на проходческих комбайнах, работающих по крепким породам, большое распространение получили тангенциальные поворотные резцы типа РШ (рис. 1). Для повышения стойкости к износу их в головной части армируют твердосплавными вставками, обычно из сплавов группы ВК.

Одной из основных причин выхода из строя указанных резцов является недостаточная износостойкость головной части их корпуса, находящейся в постоянном контакте с высокоабразивной породой. При этом возможность изготовления корпуса резца из износостойких (высокотвердых) материалов сдерживается их низким сопротивлением к воздействию на резец ударным нагрузкам. По этой причине корпуса отечественных тангенциальных резцов изготавливаются, как правило, из стали 35ХГСА, которая при средней твердости

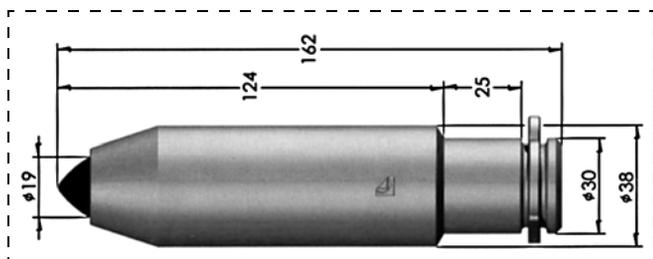


Рис. 1. Резец тангенциальный поворотный марки РШ 38-75/19.М2

(42...50 HRC) и, как следствие, средней износостойкости отличается достаточно высокой вязкостью (~0,39 МДж/м²).

В настоящей работе анализируется возможность изготовления биметаллического корпуса резца, у которого внешняя оболочка изготовлена из материала, обладающего высокой твердостью и износостойкостью, а сердцевина — из более мягкого, но вязкого материала, поглощающего энергию удара. При этом оболочка и сердцевина соединены в единое целое методом твердофазного спекания, осуществляющегося при повышенных температурах без приложения нагрузки извне за счет разницы коэффициентов термического расширения выбранных материалов.

В настоящее время существует ряд методик получения биметаллических конструкций [1—3], основывающихся на принудительном обжатии порошкообразных или цельнометаллических элементов с различной степенью пластической деформации (от 0,3 до 90 %) при температуре ~0,7...0,9 T_m (температуры плавления) наименее легкоплавкого материала.

В настоящей работе необходимое обжатие предлагается осуществлять за счет разницы в приращении диаметра D_1 полости оболочки, изготовленной из материала с меньшим коэффициентом термического расширения α_1 , и диаметра D_2 серд-

цевины, изготовленной из материала с большей величиной α_2 , при нагреве собранной конструкции до расчетной температуры T_{cal} .

При одинаковой исходной величине $D_1 = D_2 = D_0$ при температуре T_0 разница в диаметрах полости и сердцевины при искомой температуре T_{cal} выражается уравнением

$$\Delta D_T = D_{2T} - D_{1T} = D_0(\alpha_2 - \alpha_1)\Delta T, \quad (1)$$

где $\Delta T = T_{cal} - T_0$,

а площадью сечения

$$\Delta S_T = S_{2T} - S_{1T} = \frac{\pi}{4} D_0^2 [(1 + \alpha_2 \Delta T)^2 - (1 + \alpha_1 \Delta T)^2].$$

При выражении степени пластической деформации ε , претерпеваемой материалами рассматриваемых элементов в месте их контакта при нагреве, в виде отношения ΔS_T к площади сечения элемента меньшего диаметра (полости оболочки) S_{1T} при температуре T_{cal} значение ε может быть рассчитано по формуле

$$\begin{aligned} \varepsilon(T) &= \frac{S_{2T} - S_{1T}}{S_{1T}} = \\ &= \frac{2\Delta T(\alpha_2 - \alpha_1) - (\alpha_2 \Delta T)^2 - (\alpha_1 \Delta T)^2}{1 + 2\alpha_1 \Delta T + (\alpha_1 \Delta T)^2} \approx \\ &\approx 2\Delta T(\alpha_2 - \alpha_1). \end{aligned} \quad (2)$$

В формуле (2) видно, что степень деформации материалов в месте контакта элементов биметаллической пары прямо пропорциональна приращению температуры и разнице коэффициентов термического расширения использованных материалов.

В качестве материала внешней оболочки была выбрана инструментальная сталь ШХ15, как отличающаяся высокой твердостью (62...65 HRC) и, как можно ожидать, стойкостью к абразивному изнашиванию при практически нулевой вязкости ($\sim 0,05$ МДж/м²), а сердцевины — сталь 110Г13Л, обладающая высокой вязкостью ($KCU = 2,6...3,5$ МДж/м²), но недостаточной твердостью (~ 20 HRC) и износостойкостью при работе по крепким породам [4, 5]. Как показал литературный обзор [6, 7], во всем диапазоне реально достижимых температур сталь 110Г13Л, как материал со структурой аустенита, обладает и существенно большим коэффициентом термического расширения α по сравнению с ферритной сталью ШХ15 (рис. 2).

После подстановки значений $\alpha = f(T)$ сталей из графика на рис. 2 в уравнение (2) температурная зависимость степени деформации материалов в

месте контакта элементов биметаллической пары имеет вид, представленный на рис. 3.

Напряжение, возникающее в месте контакта элементов в области упругой деформации материалов, может быть оценено по закону Гука

$$\sigma_c = \varepsilon(T)E, \quad (3)$$

где E — среднее значение модуля Юнга для двух анализируемых сталей ($E \sim 204$ ГПа).

Рассчитанная зависимость $\sigma_c = f(T)$ представлена на рис. 4. Там же приведены значения услов-

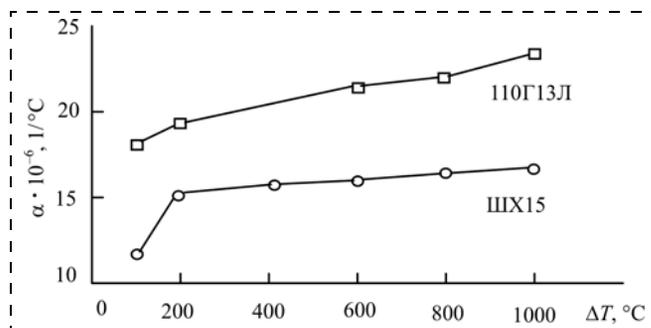


Рис. 2. Температурная зависимость коэффициентов термического расширения материалов биметаллической пары

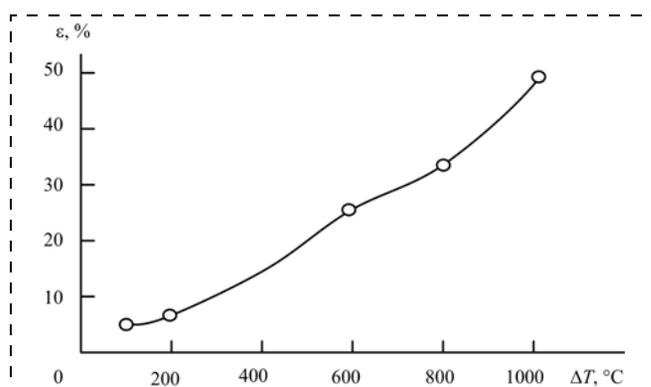


Рис. 3. Зависимость степени деформации материалов биметаллической пары от величины $\Delta T = T_i - T_0$ при $T_0 = 20$ °С

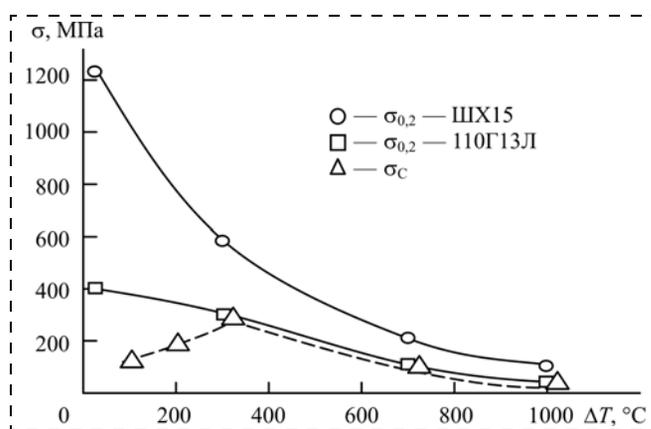


Рис. 4. Зависимости возникающего контактного напряжения и пределов текучести материалов биметаллической пары от температуры

ного предела текучести рассматриваемых материалов при анализируемых температурах.

Из расположения кривых $\sigma_{0,2} = f(T)$ видно, что во всем представленном интервале температур значения $\sigma_{0,2}$ материала сердцевины — стали 110Г13Л существенно меньше, чем у материала корпуса — стали ШХ15. По этой причине при возрастании с ростом температуры контактного напряжения σ_c до величины $\sigma_{0,2}$ стали 110Г13Л, а это произойдет при $T \sim 300^\circ\text{C}$, именно этот материал начнет пластически деформироваться. Таким образом, температура $\sim 300^\circ\text{C}$ является минимально необходимой для создания условий пластического деформирования в данной биметаллической паре.

В условиях изготовления реального корпуса резца начальные диаметры сердцевин и полости оболочки не будут совершенно одинаковы хотя бы из-за шероховатости их поверхностей. В этой связи представлялось необходимым оценить, достаточно ли будет при нагреве приращению диаметра сердцевин относительно внутреннего диаметра оболочки в реальном корпусе, чтобы перекрыть исходный зазор между составляющими. Для случая, когда полость оболочки выполняется сверлением с максимальной высотой выступов $Rz = 10 \dots 20$ мкм на поверхности, а сердцевина изготавливается литьем ($Rz = 30 \dots 40$ мкм), зазор на каждую сторону составит ~ 50 мкм (рис. 5).

Для указанной величины зазора при нагреве конструкции от 20 до 1000°C ($\sim 0,8 T_m$ стали 110Г13Л) минимальный диаметр сердцевин составит

$$D_{2\min} = \frac{2\Sigma Rz}{\Delta T(\alpha_2 - \alpha_1)} \sim 14 \text{ мм.} \quad (4)$$

Таким образом, необходимый диаметр сердцевин, при котором происходит полное заполнение суммарного зазора между элементами биметаллического корпуса резца более пластичным материалом (сталью 110Г13Л), равен для нашего случая ~ 14 мм.

Вместе с тем необходимо было оценить, какой максимально возможный диаметр может иметь сердцевина $D_{2\max}$, при котором суммарная прочность ($\sigma_{B\Sigma}$) биметаллического корпуса не уступала бы прочности существующего корпуса резца из стали 35ХГСА ($\sigma_{B35ХГСА}$).

В предположении, что суммарный предел прочности биметаллической конструкции изменяется по закону аддитивности [8] относительно величин σ_{B1} , σ_{B2} материалов составляющих ее элементов, с учетом доли, занимаемой площадью сечения каж-

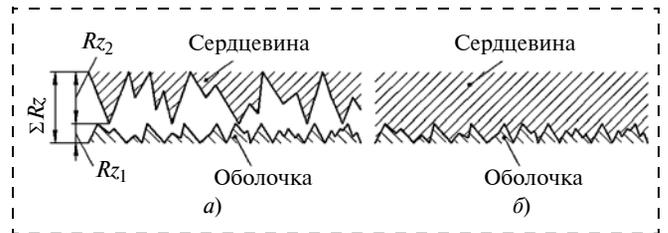


Рис. 5. Поверхность контакта в биметаллической паре до (а) и после (б) пластической деформации в результате нагрева

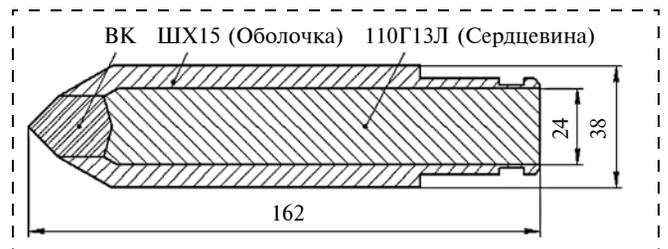


Рис. 6. Схема резца РШ 38-75 с предлагаемой конструкцией биметаллического корпуса

дого элемента, максимально допустимый диаметр сердцевин может быть вычислен по формуле

$$D_{2\max} = D_K \sqrt{\frac{\sigma_{B1} - \sigma_{B35ХГСА}}{\sigma_{B1} - \sigma_{B2}}}, \quad (5)$$

где σ_{B1} , σ_{B2} — пределы прочности материалов биметаллической пары (соответственно сталей ШХ15 и 110Г13Л); D_K — диаметр существующего корпуса резца марки РШ 38-75/19.М2 (38 мм).

После подстановки значений параметров величина $D_{2\max}$ оказалась равной 24 мм.

Таким образом, необходимый диаметр сердцевин находится в интервале значений

$$14 \text{ мм} \leq D_2 \leq 24 \text{ мм.} \quad (6)$$

Поскольку способность резца сопротивляться ударным воздействиям будет расти с увеличением диаметра D_2 вязкой сердцевин, наиболее целесообразно принять его максимально возможное значение. С учетом этого вид предлагаемой конструкции резца представлен на рис. 6.

Список литературы

1. Порошковая металлургия. Спеченные и композиционные материалы / Под ред. В. Шатта. М.: Металлургия, 1983. 520 с.
2. Пат. 2238180 Российская Федерация, МПК В23К20/04. Способ изготовления биметаллических изделий / Востриков В. П., Грамотнев К. И., Садовский А. В.; заявитель и патентообладатель Закрытое акци-

онерное общество "ТРАНСКОМ" (RU). № 2003104991/02; заявл. 19.02.2003; опубл. 20.10.2004. 4 с.

3. Пат. 2418074 Российская Федерация, МПК C21D1/09, C23C26/00, B82B3/00. Способ упрочнения изделий из металлических материалов с получением наноструктурированных поверхностных слоев / Калинин Б. А., Якушин В. Л., Польский В. И., Джумаев П. С.; заявитель и патентообладатель ООО "МИФИ-АМЕТО" (RU), Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ" (RU). № 2009136941/02; заявл. 07.10.2009; опубл. 10.05.2011. 14 с.

4. Болобов В. И. Износостойкость стали Гадфильда при больших удельных нагрузках / В. И. Болобов, В. С. Бочков, Сюй Цинянь // Горное оборудование и электромеханика. 2012. № 10. С. 12—14.

5. Болобов В. И. Износостойкость стали 110Г13Л в различных абразивных средах / В. И. Болобов, А. П. Баталов, В. С. Бочков, С. А. Чупин // Записки горного института. 2014. Т. 209. С. 17—22.

6. Байжабагинова Г. А. Прочностные свойства стали 110Г13Л после электроконтактной обработки / Г. А. Байжабагинова // Тр. университета КарГТУ. 2007. № 4.

7. Марочник сталей и сплавов / А. С. Зубченко, М. М. Колосков, Ю. В. Каширский и др. Под общей ред. А. С. Зубченко. 2-е изд., доп. и испр. М.: Машиностроение, 2003. 784 с.

8. Сопротивление материалов: учеб. для студентов учреждений, обеспечивающих получение высшего образования по техническим специальностям / М. Д. Подскребко. Минск: Вышэйшая школа, 2007. 797 с.

V. I. Bolobov, Professor, e-mail: boloboff@mail.ru, V. S. Bochkov, Assistant, e-mail: vovabochnik@mail.ru, G. A. Yusupov, Postgraduate Student, e-mail: chuma-06@bk.ru, V. Yu. Benedik, Postgraduate Student, e-mail: benedikw@bk.ru, National Mineral Resources University "University of Mines", Saint Petersburg, Russia

Assessing the Possibility of Using the Solid-Phase Sintering Method to Produce a Bimetallic Structure Body Rock Destruction Cutter

Service life rock cutting tools can be essentially increased their body shell manufacture of high-hardness wear resistant low alloy ferritic steel and the core to provide resistance to shock loading structure — austenitic steel of high viscosity. To make the body of the bimetallic structure is proposed a method based on a joint high-temperature plastic deformation of the materials of his shell and core due to the difference in thermal expansion coefficients of the steel used.

Keywords: rock cutting tool, housing, bimetallic structure, plastic deformation, thermal expansion coefficient

References

1. Powder metallurgy. Sintered and composite materials. Ed. B. Shatta. M.: Metallurgy, 1983. 520 p.

2. Pat. 2238180 Russian Federation. A method of manufacturing bimetallic products. Vostrikov V. P., Gramotnev K. I., Sadovskiy A. V. Publ. 20.10.2004. 4 p.

3. Pat. 2418074 Russian Federation. A method of hardening products from metallic materials to obtain nanostructured surface layers. Kalin B. A., Yakushin V. L., Pol'skiy V. I., Jumayev P. S. Publ. 10.05.2011. 14 p.

4. Bolobov V. I. The wear resistance of Hadfield steel at high specific loads. V. I. Bolobov, V. S. Bochkov, Xu Qingyan. Mining Equipment and Electromechanics. 2012. N. 10. P. 12—14.

5. Bolobov V. I. The wear resistance of steel 110G13L in various abrasive media. V. I. Bolobov, A. P. Batalov, V. S. Bochkov, S. A. Chupin. Notes Mining Institute. 2014. V. 209. P. 17—22.

6. Bayzhabaginoва G. A. Mechanical properties of steel 110G13L after treatment with electro. G. A. Bayzhabaginoва. Proceedings of the University of KSTU. 2007. N. 4.

7. Database of steels and alloys. A. S. Zubchenko, M. M. Spikelets, Y. Kashira et al. Ed. A. S. Zubchenko. 2nd ed., Ext. and Corr. M.: Engineering. 2003. 784 p.

8. Strength of materials: the textbook for students of institutions providing higher education in technical specialties. M. D. Podskrebko. Minsk: Higher School, 2007. 797 p.

УДК 622.002.05

А. А. Данилкин, техн. директор, **В. Ю. Мартынов**, канд. техн. наук, зам. гл. механика,
АО "Ковдорский ГОК", г. Ковдор,

Л. И. Андреева, д-р техн. наук, зав. отделом, **Т. И. Красникова**, канд. техн. наук, мл. науч. сотр.,
ООО "НИИОГР", г. Челябинск

E-mail: tehnozem74@list.ru

Подходы к формированию эффективной системы ремонтного обслуживания горной техники

Путем выявления факторов, влияющих на эффективность ремонтной службы горно-добывающего предприятия, стала возможной проработка следующих задач: структура календарного фонда времени, анализ баланса времени на планирование, подготовку и ремонт горной техники, определение функционала главного механика. Приведены функции основных блоков системы обеспечения работоспособности горного оборудования (СОРГО), позволяющие определять уровень эффективности энергомеханической службы предприятия.

Представлена модель комбинированной системы технического обслуживания и ремонта горной техники и определены этапы ее формирования на горно-добывающем предприятии.

Ключевые слова: эффективность ремонтной службы, качество ремонтного обслуживания, модель системы технического обслуживания и ремонта горно-добывающего предприятия

Как организовать энергомеханическую службу, чтобы повысить ее эффективность? Какие должны быть критерии качества ремонтного обслуживания горной техники? Подобные вопросы прорабатывались на моделирующем семинаре с персоналом одного из горно-добывающих предприятий Севера (АО "Ковдорский ГОК").

Деятельность ремонтной службы горно-добывающего предприятия, как совокупность взаимосвязанных организационных, управленческих и технологических процессов, должна быть направлена на частичное или полное восстановление ресурса горной техники при приемлемом уровне расхода финансовых средств. Практика показывает, что доля трудоемких, ремонтосложных восстановительных ремонтов на горно-добывающих предприятиях до сих пор остается достаточно высокой.

Для выявления факторов, влияющих на эффективность ремонтной службы, участниками семинара были проработаны следующие задачи: структура календарного фонда времени, анализ баланса времени на планирование, подготовку и ремонт техники, определение функционала главного механика.

Анализ структуры календарного фонда времени и экспертная оценка специалистов комбината по-

казали, что **потери времени в рабочих процессах** составляют:

- при замене вантовых подвесов до 7 ч (упущенная выгода — 5,5 тыс. т).

Необходимо:

- согласовывать график выделения а/кранов, а/транспорта еженедельно;
- изменить режим обеденного времени ремонтного персонала;
- доработать технологическую карту замены вантовых подвесов;

- при ремонте дробилок до 90 ч/мес (упущенная выгода — 55,2 тыс. т).

Необходимо:

- улучшить подготовку резерва;
- оптимизировать время на подготовку оборудования к ремонту;

- при оказании услуг подрядной организацией по ремонту горной техники (дизельные экскаваторы) до 5,5 ч/сут (прямые потери в заработной плате машинистов экскаваторов).

Необходимо:

- договориться и закрепить в договоре с подрядной организацией режим рабочего времени ремонтного персонала подрядчика (согласовать с режимом работы операторов экскаваторов).

Оценка баланса времени на планирование, подготовку и ремонт горной техники и оборудования (ГТО) выявила, что время фактического ремонта в ряде случаев превышает плановое на 30...48 %. В частности, при проведении капитального ремонта экскаватора "BUCYRUS-RH 120E" превышение составило 78 сут (от запланированных 164,5 сут), при этом упущенная выгода — 284 тыс. м³ горной массы.

Необходимо:

— закрепить в договоре с подрядной организацией ответственность за срыв сроков проведения ремонта горных машин;

— ввести материальную составляющую (штраф) за несоблюдение сроков ремонта.

Частая корректировка сроков проведения ремонта по причине отключения электроэнергии (10 % рабочего времени), нарушения графика ППР (10 % рабочего времени), поломки вспомогательной техники (3 %), погодных условий и других факторов (5 %) влияет на рациональное использование фонда оплаты труда (ФОТ) ремонтной службы (выполнение неосновных и вспомогательных работ при отсутствии фронта основных работ приводит к затратам ФОТ в размере 448 тыс. руб./мес).

Необходимо:

— повысить эффективность планирования ремонтных работ;

— проводить ремонт горной техники агрегатно-узловым методом;

— повысить безопасность ремонтных работ (организационные и технологические регламенты).

Фотография рабочего времени (смена — 8 ч) механика бурового участка и участка ремонта гор-

ной техники, представленная участниками семинара, выявила следующее:

- в функционале механика участка не закреплен пункт ответственности за результаты работы;
- не определено соотношение между производительным использованием рабочего времени и уровнем оплаты труда механика.

Необходимо:

— освободить механика от несвойственных функций (погрузочно-разгрузочные операции) и т. д.;

— изменить время выдачи наряд-задания подрядной организации;

— ужесточить порядок подписания актов выполненных работ;

— включить в функционал механика участка ответственность за безопасное ведение работ.

Участники семинара экспертно оценили уровень эффективности действующей на предприятии системы обеспечения работоспособности горной техники — низкий стабильный (ситуационное регулирование), см. таблицу.

Устаревшие стандарты и ситуационное реагирование на возникающие отказы горного оборудования обуславливают прямое руководство ремонтными работами, определяют накопление ресурсов и их повышенный расход, нестабильную и малоэффективную работу системы ТОиР. Вывод системы ТОиР из нестабильного состояния требует изменения уровня ее организации, стандартизации технологических операций и процессов, системы оплаты труда ремонтного персонала и мониторинга деятельности ремонтной службы.

Устойчивость развития системы ТОиР обеспечивается реализацией баланса интересов персонала при надежном выполнении функций и достиже-

Функции основных блоков системы СОРГО¹

Уровень	Управление	Контроль	Организация	Регулирование	Выполнение операций
Высокий перспективный — устойчивое развитие	Целеполагание и адаптация системы	Мониторинг целей (развития, стратегии), состояния среды (конкуренция) и системы в целом	Организация развития СОРГО на основе баланса интересов персонала	Корректировка развития СОРГО на основе программы	Предупредительное обслуживание и ремонт по техническому состоянию
Средний стабильный — надежное функционирование	Поддержание стабильного состояния системы	Мониторинг состояния системы	Организация СОРГО: подчинение структуры функциям	Корректировка системы на основе ППР	Профилактическое обслуживание и ремонт по наработке
Низкий стабильный — ситуационное регулирование	Регулирование технологических процессов	Мониторинг состояния технологических процессов	Организация технологического процесса: подчинение норм расхода ресурсов стандартам (ГОСТ)	Корректировка процессов на основе ТУ	Профилактическое обслуживание и ремонт по наличию ресурсов
Низкий нестабильный — ситуационное реагирование	Руководство ремонтными работами	Мониторинг состояния ремонтных работ	Организация ремонтных работ: подчинение операций командам	Корректировка операций на основе дефектационных ведомостей и технологических карт	Выполнение ремонтных работ по отказам

¹ Канд. диссертация Л. И. Андреевой "Организационные основы системы обеспечения работоспособности горного оборудования на угольных разрезах", 1999 г.

ния поставленных целей. Руководитель службы может добиться реальных результатов по улучшению качества работы службы, если его функция, степень ответственности и права корректируются согласно изменениям в организационной структуре, которая развивается в зависимости от требований среды.

Главный механик — лицо, ответственное за состояние системы обеспечения работоспособности горной техники, ее эксплуатацию и ремонтное обслуживание. Такое понимание функционала главного механика в структуре управления предприятия позволило участникам семинара иначе посмотреть на свою зону ответственности —

включить в нее не только организацию и технологию ремонта, но и учет, эффективность потребления ресурсов, контроль условий эксплуатации техники, эффективность планирования и подготовки ремонтных работ, мотивацию ремонтного персонала.

Проработка поставленных задач позволила сформировать модель комбинированной, охватывающей все производственные переделы предприятия системы ТОиР горной техники, основным критерием которой был определен "принцип экономической целесообразности" ремонта ГТО, включающий следующие показатели: количество машино-часов производительной работы техники, наработку (млн м³ горной массы), т/км транспортируемого груза, тыс. т. продукта и фактическое техническое состояние горной техники всей производственной цепочки. Основным экономическим показателем определена "стоимость обеспечения одного машино-часа готовности" горного оборудования (рис. 1).

Технологическим элементом системы ТОиР является своевременная техническая диагностика — определение фактического состояния техники с минимальным объемом разборки или без нее.

Расчет коэффициентов:

$K_{\text{эксп.гот}}$ — коэффициент эксплуатационной готовности:

$$K_{\text{эксп.гот}} = \frac{T_{\text{факт}}}{T_{\text{факт}} + t_{\text{у.н}}}, \quad (1)$$

где $T_{\text{факт}}$ — время, в течение которого машина выполняла цикловые операции; $t_{\text{у.н}}$ — время простоев на устранение поломок и неисправностей ма-

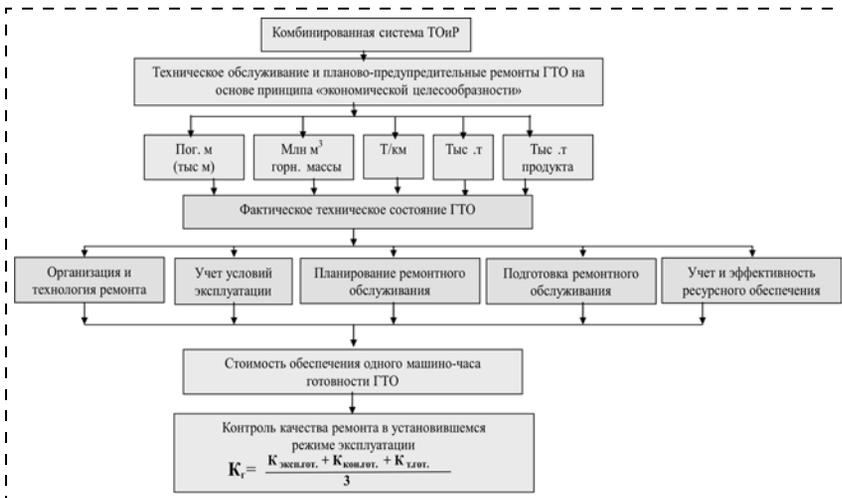


Рис. 1. Модель системы ТОиР

шины в течение рабочих смен за исследуемый период:

$$t_{\text{у.н}} = t_{\text{сб}} + t_{\text{рем}} + t_{\text{рег}}, \quad (2)$$

где $t_{\text{сб}}$ — время на разборку и сборку машины, ремонт (замену деталей); $t_{\text{рем}}$ — время на ремонт вышедшей из строя детали (зависит от оснащенности ремонтной базы, организации ремонта и квалификации персонала); $t_{\text{рег}}$ — время на регулировку и наладку машины после ремонта.

$K_{\text{кон.гот}}$ — коэффициент конструктивной готовности:

$$K_{\text{кон.гот}} = \frac{T_{\text{раб.см}} - t_{\text{у.н}}}{T_{\text{раб.см}}}, \quad (3)$$

где $T_{\text{раб.см}}$ — полное время рабочих смен в течение исследуемого периода.

$K_{\text{т.гот}}$ — коэффициент технической готовности в установленном режиме эксплуатации:

$$K_{\text{т.гот}} = \frac{T_{\text{н.о}}}{T_{\text{н.о}} + T_{\text{в}}}, \quad (4)$$

где $T_{\text{н.о}}$ — время наработки на отказ между t_1 и t_2 ; $T_{\text{в}}$ — среднее время восстановления.

Если на отыскание и устранение m отказов было затрачено время:

$$t_1, t_2, t_3, \dots, t_m, \text{ то } T_{\text{в}} = \frac{1}{m} \sum_1^m t_i,$$

где m — число отказов за исследуемый период; t_i — сумма времени восстановления отказов.

$$\text{МЧГ} = T_{\text{кфв}} - \sum T_{\text{рем.неп}} - \sum T_{\text{рем.пл}} - \sum T_{\text{перегон}}, \quad (5)$$

где $T_{\text{кфв}}$ — календарный фонд времени, $T_{\text{кфв}} = 8760$ ч; $T_{\text{рем.неп}}$ — время неплановых ремонтов; $T_{\text{рем.пл}}$ — время плановых ремонтов; $T_{\text{перегон}}$ — время перегона экскаватора.

$$C_{\text{МЧГ}} = \frac{\sum Z_{\text{рем}}}{\text{МЧГ}}, \quad (6)$$

где $Z_{\text{рем}}$ — затраты на ремонт за исследуемый период.

Для парка выемочно-погрузочной техники предложена оптимальная структура ремонтного цикла, основанная на контроле условий и режимов эксплуатации, заданном ресурсе узлов и деталей, нормативах наработки объемов: В-ТО-Т1-ТО-Т1-ТО-Т2-ТО-Т1-ТО-Т1-ТО-Т3-...-КР1-...-списание. Для дробильно-сортировочного и обогащительного оборудования рекомендована система ТОиР по техническому состоянию и наработке (маш.-ч, тыс. т продукта).

Участниками семинара определены основные этапы формирования комбинированной системы ТОиР, которые включают:

- актуализацию, внедрение и освоение стандарта предприятия, регламентирующего порядок технического обслуживания и ремонта горной техники (Проект Положения о ППР);

- доработку и освоение программного обеспечения для расчета наработки горной техники всей производственной цепочки;

- развитие эффективной системы мониторинга эксплуатации горной техники;

- создание группы анализа эффективности процессов ТОиР;

- пересмотр системы мотивации ремонтного персонала.

Сроки и ответственные за выполнение этапов назначаются руководством предприятия.

Таким образом, семинар с персоналом энергомеханической службы предприятия оказался результативным, поскольку проработка поставленных задач и динамика изменения позиции участников — от "нам не дают нормально работать" до "необходимо проводить экономическую оценку потерь в любом цикле производства" — позволили иначе посмотреть на организационный аспект ремонтной службы.

Ниже приведены некоторые мнения участников об основных задачах, рассмотренных на семинаре.

1. Об организации системы ремонтов:

- доля ответственности главного механика в организации процесса ремонта составляет 100 %;
- необходимо обосновывать проблемы в организации и технологии ремонтов в виде расчетов;

- необходимо сначала разобрать слабые места в организации и подготовке ремонтных работ, затем действовать целенаправленно;
- увидел, что в структуре распределения причин аварийных остановок горной техники по элементам производственной системы основными причинами отказов являются неэффективная организация производственных процессов и низкая ответственность операционного персонала;
- увидел прямую зависимость риска от качества выдачи наряда, т. е. чем качественнее подготовка, тем ниже риск возникновения внештатных ситуаций.

2. О роли функционала главного механика:

- механику важно уметь определять главные функции в управлении: планирование, организация, мотивация и контроль;
- необходимо определить функционал главного механика и выявить в нем "слабые места";
- понять, что нужно серьезно поработать над повышением эффективности своего функционала;
- необходимо расставить приоритеты для себя над тем, на что лично я могу повлиять как механик.

3. Об эффективности ремонтной службы:

- важной была проработка ключевого показателя деятельности ремонтной службы $\Theta = P/3$. Служба должна быть эффективной;
- необходимо считать деньги, анализировать затраты на плановый и аварийный ремонты. Избавиться от работы, снижающей эффективность;
- очень важно понимание того, что эффективность и безопасность тесно связаны между собой;
- проводить экономическую оценку потерь в любом цикле производства: при проведении ремонтных работ, изготовлении, замене узлов и агрегатов;
- необходимо учитывать стоимость любого простоя горной техники;
- убедился на своем примере в наличии непродуктивного времени в течение рабочего дня.

Список литературы

1. Андреева Л. И. Методология формирования технического сервиса горно-транспортного оборудования на угледобывающем предприятии: Дисс. ... д-ра техн. наук, 2004. 275 с.
2. Красникова Т. И. Обоснование и выбор рациональных параметров эксплуатации экскаваторов циклического действия: Дисс. ... канд. техн. наук, 2012. 132 с.
3. Слюньков В. Н., Андреева Л. И., Довженок А. С. Показатели функционирования системы обеспечения работоспособности горного оборудования // Уголь. 2008. Спец. выпуск. С. 77—78.

A. A. Danilkin, Technical Director, **V. Yu. Martynov**, Deputy Chief Mechanic, JSC "Kovdorskiy GOK", Kovdor, **L. I. Andreeva**, Head Department of Repair, e-mail: tehnorem74@list.ru, **T. I. Krasnikova**, Jr. Research Associate, LLC "NIIOGR", Chelyabinsk, Russia

The Ways to Organize an Effective System of Mining Equipment Maintenance

By identifying the factors that influence the repair service effectiveness of the mining enterprise, the study of the following problems became possible: the structure of the calendar time-fund, balance sheet analysis time for planning, preparation and repair of mining equipment, the definition of functional chief mechanic. Function given basic block system maintenance and repair of mining equipment, allowing to determine the level of energy efficiency and mechanical services company.

A model of the new combined system of technical maintenance and repair of mining techniques is presented. There were determined main stages of formation of this system on a mining enterprise.

Keywords: efficiency of repair service, quality of repair service, model of system maintenance and repair works at mining companies

References

1. **Andreeva L. I.** Development of technical service mining equipment at coal mining enterprises. *Diss. Doctor of technical sciences*, 2004. 275 p.

2. **Krasnikova T. I.** The grounds and choice of rational operating parameters of cyclic excavators. *Diss. Candidate of technical sciences*, 2012. 132 p.

3. **Slyunkov V. N., Andreeva L. I., Dovzhenok A. S.** System indicators ensuring efficiency of mining equipment. *Coal*. 2008. Special Edition. P. 77—78.

Информация для авторов

Обращаем внимание, что в редакции приняты новые правила оформления статей. Согласно требованиям зарубежных аналитических баз данные каждая статья должна быть дополнена следующей информацией:

- инициалы и фамилии каждого автора, занимаемая должность, e-mail, полное название места работы (при совпадении места работы авторов нужно указывать его один раз для всей группы авторов);
- название статьи;
- аннотация статьи объемом не менее 200 слов, написанная качественным английским языком, отражающая основное содержание статьи с указанием цели, задачи, результатов исследования и кратких выводов;
- ключевые слова (10—12 слов);
- список литературы в романском алфавите (латинице), т.е. необходимо транслитерировать список на латинский шрифт (рекомендуем <http://translit.net/>). Технические сокращения (номер, том, страница и т. п.) должны быть переведены с использованием общепринятых обозначений.

УДК 622.236.732

А. Б. Жабин, д-р техн. наук, проф., **Е. А. Аверин**, асп., ТулГУ, г. Тула

e-mail: zhabin.tula@mail.ru; evgeniy.averin.90@mail.ru

Простейший аналитический метод расчета эрозии горных пород под действием гидроабразивной струи

Предложен метод теоретического описания процесса разрушения хрупких материалов, к которым относится большинство горных пород. Метод подразумевает определение таких параметров, характеризующих процесс разрушения горных пород, как скорость эрозии, глубина щели и скорость приращения боковой поверхности щели. Полученные выражения будут справедливы для любого хрупкого материала, взаимодействующего со всякой средой, несущей абразив, эрозионным действием которой можно пренебречь. Метод содержит значительное число упрощений и допущений, однако в связи со сложностью рассматриваемой проблемы авторы полагают, что главная задача, стоящая в данный момент перед теорией, — дать понимание механизма процесса и установить его основные закономерности. Для этой цели лучше всего подходит простая модель, сохраняющая вместе с тем способность воспроизвести наиболее существенные черты явления. Таким образом, предложенную работу рекомендуется воспринимать в качестве концепции.

Ключевые слова: гидроабразив, эрозия, горные породы, метод расчета, математическая модель, глубина резания

В последнее время в России активно ведется поиск путей развития горного производства [1]. Одним из наиболее перспективных направлений является применение гидроструйных технологий [2]. В частности, гидроабразивное резание позволяет разрушать горные породы и прочие материалы любой крепости [3—5]. Гидроабразивный способ может быть также реализован в конструкциях исполнительных органов проходческих комбайнов при проходке выработок по весьма крепким и абразивным породам для нарезания ослабляющих щелей определенной глубины. Образующиеся щели при этом разрушаются режущим или шабашечным инструментом [3].

Для эффективного использования гидроабразивной технологии необходимо иметь адекватное понимание механизма разрушения горных пород под воздействием гидроабразивной струи, основанного на современных представлениях о разрушении материалов, и соответствующие методы расчета показателей эффективности этого процесса.

Разрушение породного массива при гидроабразивном способе носит эрозионный характер и заключается в последовательном и непрерывном уносе объема (массы) материала гидроабразивной струей в единицу времени [3, 4]. Значительный вклад в изучение эрозионного разрушения различных материалов внесли А. G. Evans, К. Faber,

I. Finnie, M. Hashish, M. Hessling, T. J. Kim, H. Oweinah, G. L. Sheldon, D. A. Summers, J. Zeng, П. А. Тихомиров и другие ученые, которые исследовали механизм хрупкого разрушения под воздействием твердых частиц. Это позволило им на основе теории возникновения и роста трещин с учетом механики внедрения частиц, приводящих в совокупности к образованию изолированного от основного материала фрагмента и его последующему удалению, получить приблизительные соотношения для определения скорости эрозии. Однако применение этих зависимостей на практике затруднительно, поскольку каждая из них содержит параметры, процедуры определения которых или не указаны, или требуют проведения дополнительных трудоемких экспериментальных или сложных теоретических исследований по установлению закономерностей эрозионного разрушения хрупких материалов, что исключает возможность их использования в существующем виде при прогнозировании процесса гидроабразивного разрушения хрупких материалов, к которым относится большинство горных пород.

При теоретическом описании, как и в большинстве подобных работ [3, 5, 7—9], было принято, что одинаковые частицы абразива сферической формы взаимодействуют с плоской поверхностью упругого полупространства. Эрозионным дейст-

вию воды пренебрегаем. В этом случае функции воды заключаются в разгоне частиц абразива и уносе отколовшегося объема горных пород из места разрушения. Скорость частицы в момент удара направлена перпендикулярно к плоскости, ограничивающей полупространство.

При таких допущениях в работе [7] был получен полуэмпирический метод определения скорости эрозии. При этом весь уносимый в процессе эрозии объем определялся как сумма объемов, уносимых при каждом отдельном ударе, который равен объему части сферы, внедрившейся в упругое полупространство. Таким образом, этот метод учитывал только упругопластические деформации при разрушении горных пород. Однако известно, что удар частицы о поверхность тела инициирует в последнем нестабильное поле напряжений и, как следствие, сетку трещин: в начальный период образуются радиальные (конические) трещины, в заключительный период — кольцевые и поперечные [6], — слияние которых приводит к отколу кусков материала [3]. При той же описанной выше системе допущений в работе [8] была получена система уравнений относительно углов распространения микротрещин от одиночного удара по упругому полупространству. Ее решение позволило получить следующую зависимость для определения объема, уносимого при ударе одной частицы [9]:

$$V = \frac{\pi R^2 h_э}{3}, \quad (1)$$

где R — радиус частицы, м; $h_э$ — элементарная (от одного удара) глубина резания, м. Глубина $h_э$ определяется по формуле

$$h_э = 0,414R + \delta, \quad (2)$$

где δ — глубина проникания твердой сферы в упругое полупространство, м.

$$\delta = R \left(\frac{5\pi(1-v^2)\rho v^2}{4E} \right)^{2/5}, \quad (3)$$

где ρ — плотность абразивной частицы, кг/м³; v — скорость абразивной частицы в момент удара, м/с; v — коэффициент Пуассона; E — модуль Юнга, Па.

Зависимости (1)—(3) относятся к предельно идеализированному случаю протекания эрозии в материале, который обладает только упругопластическими свойствами. Ключевым для понимания описываемого механизма эрозии является выражение (2). Его справедливость для зоны упругопластической деформации, характеризуемой параметром δ , допустимо считать весьма высокой.

А вот на интенсивность и размеры зоны поперечного растрескивания оказывают влияние критическое значение J -интеграла (интеграла Эшелби—Черепанова—Райса) J_c (Дж/м²) [10] и предел горной породы на одноосное сопротивление сжатию $\sigma_{сж}$ (Па). Упругопластическое деформирование и рост трещин — разнесенные по времени процессы с задержкой, равной инкубационному времени до зарождения трещины τ , с.

Найти полную глубину резания можно, просуммировав значения элементарных глубин резания частиц по всей глубине воронки. При этом элементарная глубина резания при прочих равных варьируется в зависимости от скорости частицы в момент удара. Тогда

$$h = \int_0^{h_{\max}} h_э d\delta = \int_0^{v_{a_{opt}}} \left(\frac{0,414RJ_c}{v_{\Pi}\sigma_{сж}\tau} + \frac{R}{v_{\Pi}} \left(\frac{5\pi(1-v^2)\rho v^2}{4E} \right)^{2/5} \right) dv, \quad (4)$$

где v_{Π} — скорость перемещения инструмента над разрушаемой поверхностью, м/с; $v_{a_{opt}}$ — оптимальная скорость гидроабразивной струи, при которой обеспечивается нарезание щелей максимальной глубины в заданных условиях.

Ввиду малых расстояний от режущего инструмента до обрабатываемой поверхности будем считать оптимальную скорость гидроабразивной струи в момент истечения из инструмента и максимально возможную для заданных условий скорость абразивных частиц в момент удара равными.

Стоит отметить, что процесс резания не начинается при скорости гидроабразивных частиц, отличной от нуля. Существует некоторая критическая (пороговая) скорость v_k . Тогда, воспользовавшись свойством определенных интегралов

$$\int_a^b f(x)dx = \int_a^c f(x)dx + \int_c^b f(x)dx, \text{ получим}$$

$$h = \int_{v_k}^{v_{a_{opt}}} \left(\frac{0,414RJ_c}{v_{\Pi}\sigma_{сж}\tau} + \frac{R}{v_{\Pi}} \left(\frac{5\pi(1-v^2)\rho v^2}{4E} \right)^{2/5} \right) dv + \int_0^{v_k} \left(\frac{0,414RJ_c}{v_{\Pi}\sigma_{сж}\tau} + \frac{R}{v_{\Pi}} \left(\frac{5\pi(1-v^2)\rho v^2}{4E} \right)^{2/5} \right) dv. \quad (5)$$

Значение v_k является неизвестным. Однако его можно установить из уравнения (5). Исходя из того что в диапазоне значений скорости абразивных

частиц от 0 до v_k разрушения материала не происходит, т. е. $h = 0$, определенный интеграл во всем диапазоне значений равен нулю. Тогда

$$\int_0^{v_k} \left(\frac{0,414RJ_c}{v_{\Pi} \sigma_{сж} \tau} + \frac{R \left(\frac{5\pi(1-v^2)\rho v^2}{4E} \right)^{2/5}}{v_{\Pi}} \right) dv \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{R \left(\frac{5\pi(1-v^2)\rho v^2}{4E} \right)^{2/5}}{v_{\Pi}} \int_0^{v_k} v^{4/5} dv = -\frac{0,414RJ_c}{v_{\Pi} \sigma_{сж} \tau}. \quad (6)$$

Отрицательное значение в правой части последнего уравнения (6) объясняется мнимостью объема "колпака" лунки выкола при отсутствии разрушения, т. е. это как бы потенциальное значение высоты тела вращения ("колпака") по центральной его оси.

В результате вычислений получим

$$v_k = 0,63 \sqrt[9]{\frac{J_c^5 E^2}{\sigma_{сж}^5 \tau^5 (1-v^2)^2 \rho^2}}. \quad (7)$$

Таким образом, критическое значение скорости гидроабразивной струи зависит от упругопластических и прочностных свойств горной породы и плотности частицы. Полученная формула в явном виде не учитывает размер частицы, но значение константы в числителе зависит от ее формы.

К определению оптимальной скорости струи существует несколько подходов.

Статистический подход с применением методов подобия и анализа размерностей к выявленным факторам, оказывающим влияние на скорость гидроабразивной струи, мы рассматривать не будем, так как полученные с его использованием зависимости применимы только для условий, при которых они были получены.

В последнее время все чаще проводятся попытки нахождения этой величины на основании описания движения многофазного потока [11].

Но наиболее широкое распространение получил подход, основанный на законе сохранения количества движения с учетом его передачи от высокоскоростной струи воды к потоку инжестируемых абразивных частиц в камере смешивания и в коллиматоре режущего инструмента. Простейшее выражение, основанное на таком подходе, получено в работе [5]. Его особенностью является применимость при значениях соотношения массового рас-

хода абразива к массовому расходу воды в диапазоне 0,1...0,3. Оно имеет следующий вид:

$$v_{aopt} = \frac{v_0}{2}, \quad (8)$$

где v_0 — скорость истечения воды из струеформирующей насадки, м/с.

Скорость v_0 рассчитывается по формуле Бернулли

$$v_0 = \mu \sqrt{\frac{2P_0}{\rho_B}}, \quad (9)$$

где μ — коэффициент расхода насадки; P_0 — давление воды перед насадкой, Па; ρ_B — плотность воды, кг/м³.

Теперь, когда установлены все входящие в разрабатываемую теоретическую модель величины, можно определить показатели эффективности эрозии горных пород под действием гидроабразивной струи.

Окончательно формула для определения глубины резания примет следующий вид

$$h = \frac{0,414RJ_c}{v_{\Pi} \sigma_{сж} \tau} + \frac{R \left(\frac{5\pi(1-v^2)\rho}{4E} \right)^{2/5}}{v_{\Pi}} (v_{aopt}^{9/5} - v_k^{9/5}). \quad (10)$$

Далее найдем объем горной породы, уносимый при ее разрушении. Зная это значение, а также длительность процесса, не составит труда определить скорость эрозии (унесенный объем/длительность процесса). Исходное выражение имеет вид

$$\dot{V} = \int_V v dV = \int_{v_k}^{v_{aopt}} \frac{\pi R \delta \left(\frac{0,414RJ_c}{v_{\Pi} \sigma_{сж} \tau} + \delta \right)}{3v_{\Pi}} dv. \quad (11)$$

После математических преобразований зависимости (11) получим

$$\dot{V} = \frac{0,4J_c R^3}{v_{\Pi}^2 \sigma_{сж} \tau} \left(\frac{(1-v^2)\rho}{E} \right)^{2/5} (v_{aopt}^{9/5} - v_k^{9/5}) + \frac{8,43R^3}{v_{\Pi}} \left(\frac{(1-v^2)\rho}{E} \right)^{4/5} (v_{aopt}^{13/5} - v_k^{13/5}).$$

При решении некоторых задач бывает важно знать скорость приращения боковой поверхности щели F_0 (м²/с), которая определяется по следующей формуле [3, с. 69]

$$F_0 = hv_{\Pi}. \quad (12)$$

Подставив формулу (10) в формулу (12), получим

$$F_0 = \frac{0,414RJ_c}{\sigma_{сж}\tau} + 0,96R \left(\frac{(1-v^2)\rho}{E} \right)^{2/5} (v_{a_{opt}}^{9/5} - v_k^{9/5}).$$

Таким образом, получены зависимости для определения показателей эффективности эрозионного разрушения горных пород под действием гидроабразивной струи, описывающие механизм эрозии на основании современных представлений о разрушении материалов, как об одновременно протекающих деформациях различного характера.

Приведем пример расчета глубины резания гидроабразивным инструментом мрамора со следующими характеристиками [12, с. 275–289]: $\sigma_{сж} = 88,2 \cdot 10^6$ Па, $J_c = 8581,2$ Дж/м², $\tau = 2,48 \cdot 10^{-6}$ с, $E = 4,7 \cdot 10^8$ Па и $v = 0,218$. Резание осуществляется кварцевым песком, плотность частиц которого $\rho = 2640$ кг/м³ и средний радиус $R = 0,15 \cdot 10^{-3}$ м, при скорости перемещения инструмента $v_{п} = 0,208$ м/с, давлении воды (плотностью $\rho_{в} = 1000$ кг/м³) перед насадкой $P_0 = 60 \cdot 10^6$ Па с коэффициентом расхода $\mu = 0,75$.

Для начала по формуле (7) вычисляем критическую скорость разрушения

$$v_k = 0,63 \cdot \sqrt[9]{\frac{8581,2^5 \cdot (4,7 \cdot 10^8)^2}{(88,2 \cdot 10^6)^5 (2,48 \cdot 10^{-6})^5 (1 - 0,218^2)^2 2640^2}} = 72 \text{ м/с.}$$

Далее по формуле (9) рассчитываем скорость истечения воды из струеформирующей насадки

$$v_0 = 0,75 \sqrt{\frac{2 \cdot 60 \cdot 10^6}{1000}} = 260 \text{ м/с.}$$

После чего по формуле (8) определяем оптимальную скорость гидроабразивной струи

$$v_{a_{opt}} = \frac{260}{2} = 130 \text{ м/с.}$$

Таким образом, теперь известны все необходимые для расчета по формуле (10) величины

$$h = \frac{0,414 \cdot 0,15 \cdot 10^{-3} \cdot 8581,2}{0,208 \cdot 88,2 \cdot 10^6 \cdot 2,48 \cdot 10^{-6}} + \frac{0,15 \cdot 10^{-3}}{0,208} \times \left(\frac{5\pi(1 - 0,218^2)2640}{4 \cdot 4,7 \cdot 10^8} \right)^{2/5} (130^{9/5} - 72^{9/5}) = 0,052 \text{ м.}$$

Список литературы

1. Брук М. Л., Федоров Л. Н. Анализ возможных путей развития горного машиностроения // Горное оборудование и электромеханика. 2010. № 1. С. 15–18.
2. Мерзляков В. Г., Бафталовский В. Е., Байдинов В. Н. Механизация горных работ с использованием гидротехнологий // Горное оборудование и электромеханика. 2010. № 6. С. 2–6.
3. Бреннер В. А., Жабин А. Б., Пушкарев А. Е., Щеголевский М. М. Гидроструйные технологии в промышленности. Гидроабразивное резание горных пород. М.: Изд-во МГГУ, 2003. 279 с.
4. Мерзляков В. Г., Бафталовский В. Е. Установление рациональных параметров, разработка и создание инструментов для гидроабразивного резания твердых материалов // Горное оборудование и электромеханика. 2008. № 4. С. 27–31.
5. Жабин А. Б., Аверин Е. А. Совершенствование метода расчета глубины резания материалов гидроабразивным инструментом // Горное оборудование и электромеханика. 2014. № 11. С. 24–29.
6. Эрозия / Под ред. К. Прис. М.: Мир, 1982. 434 с.
7. Жабин А. Б., Лавит И. М., Поляков А. В. Механизм и закономерности процесса эрозионного разрушения горных пород под действием гидроабразивной струи // Горное оборудование и электромеханика. 2008. № 1. С. 37–41.
8. Жабин А. Б., Лавит И. М., Аверин Е. А. Математическая модель процесса эрозии горных пород гидроабразивной струей // Известия ТулГУ. Технические науки. 2014. № 11-2. С. 302–312.
9. Аверин Е. А. Эрозия поверхности горных пород при одиночном ударе абразивной частицы с учетом образования лунки выкола // Известия ТулГУ. Технические науки. 2014. № 5. С. 193–200.
10. Жабин А. Б., Аверин Е. А. Систематизация параметров процесса эрозии горных пород под действием гидроабразивных струй // Горное оборудование и электромеханика. 2015. № 4. С. 41–44.
11. Жабин А. Б., Пушкарев А. Е., Лавит И. М., Аверин Е. А. Математическая модель процесса формирования гидроабразивной струи, получаемой по способу увлечения абразива // Известия ТулГУ. Технические науки. 2014. № 11-2. С. 340–351.
12. Бреннер В. А., Жабин А. Б., Щеголевский М. М., Поляков Ал. В., Поляков Ан. В. Гидроструйные технологии в промышленности. Совершенствование гидроструйных технологий в горном производстве. М.: Горная книга, 2010. 337 с.

Elementary Method for Calculation of Hard Rocks Erosion Caused by Abrasive Waterjets

The method of the theoretical description of the process of the brittle materials (to which most of rocks are belonged) destruction is proposed. The method is meant to determinate such a parameters of the rock destruction process as are a cutting depth, an erosion velocity and a velocity of the side surface cracks increment. The dependences are accurate for every brittle material that interacts with any medium bringing abrasive particles if it's possible to neglect medium's erosion action. The method contains a significant number of assumptions and simplifications. However authors thought that the main task for the theory of such a complex problem is to give an understanding of the process's mechanism and to estimate its basic patterns. The simple model that can reproduce essentials of the process is fit for this purpose. So the paper might be considered as a conception.

Keywords: hydroabrasive, erosion, hard rocks, calculation method, cutting depth, wearing, threshold velocity

References

1. **Bruk M. L., Fedorov L. N.** Analiz vozmozhnykh putej razvitiya gornogo mashinostroeniya. *Gornoe oborudovanie i ehlektromekhanika*. 2010. N. 1. P. 15–18.

2. **Merzlyakov V. G., Baftalovskiy V. E., Bajdinov V. N.** Mekhanizatsiya gornyh rabot s ispol'zovaniem gidrotekhnologij. *Gornoe oborudovanie i ehlektromekhanika*. 2010. N. 6. P. 2–6.

3. **Brenner V. A., Zhabin A. B., Pushkarev A. E., Shchegolevskiy M. M.** *Gidrostrujnye tekhnologii v promyshlennosti. Gidroabrazivnoe rezanie gornyh porod*. M.: Izd-vo MGGU, 2003. 279 p.

4. **Merzlyakov V. G., Baftalovskiy V. E.** Ustanovlenie racional'nykh parametrov, razrabotka i sozdanie instrumentov dlya gidroabrazivnogo rezaniya tverdykh materialov. *Gornoe oborudovanie i ehlektromekhanika*. 2008. N. 4. P. 27–31.

5. **Zhabin A. B., Averin E. A.** Sovershenstvovanie metoda rascheta glubiny rezaniya materialov gidroabrazivnym instrumentom. *Gornoe oborudovanie i ehlektromekhanika*. 2014. N. 11. P. 24–29.

6. **Ehroziya**. Pod red. K. Pris. M.: Mir, 1982. 434 p.

7. **Zhabin A. B., Lavit I. M., Polyakov A. V.** Mekhanizm i zakonomernosti processa ehrozionnogo razrusheniya gornyh

porod pod dejstviem gidroabrazivnoj strui. *Gornoe oborudovanie i ehlektromekhanika*. 2008. N. 1. P. 37–41.

8. **Zhabin A. B., Lavit I. M., Averin E. A.** Matematicheskaya model' processa ehrozii gornyh porod gidroabrazivnoj struej. *Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki*. 2014. N. 11-2. P. 302–312.

9. **Averin E. A.** Ehroziya poverhnosti gornyh porod pri odinochnom udare abrazivnoj chasticy s uchetom obrazovaniya lunki vykola. *Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki*. 2014. N. 5. P. 193–200.

10. **Zhabin A. B., Averin E. A.** Sistematizatsiya parametrov processa ehrozii gornyh porod pod dejstviem gidroabrazivnykh struj. *Gornoe oborudovanie i ehlektromekhanika*. 2015. N. 4. P. 41–44.

11. **Zhabin A. B., Pushkarev A. E., Lavit I. M., Averin E. A.** Matematicheskaya model' processa formirovaniya gidroabrazivnoj strui, poluchaemoj po sposobu uvlecheniya abraziva. *Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki*. 2014. N. 11-2. P. 340–351.

12. **Brenner V. A., Zhabin A. B., Shchegolevskiy M. M., Polyakov Al. V., Polyakov An. V.** *Gidrostrujnye tekhnologii v promyshlennosti. Sovershenstvovanie gidrostrujnykh tekhnologij v gornom proizvodstve*. M.: Gornaya kniga, 2010. 337 p.

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

Технический редактор *Е.В. Конова*. Корректор *З.В. Наумова*.

Сдано в набор 15.05.2015. Подписано в печать 29.06.2015. Формат 60 × 88 1/8. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 5,88. Заказ GO515. 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. Сайт: www.aov.ru