

Учредитель: Издательство "НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ"

Главный редактор
КАНТОВИЧ Л.И.

Зам. гл. редактора
ИВАНОВ С.Л.
ЛАГУНОВА Ю.А.

Редакционный совет:

КОЗОВОЙ Г.И.
(сопредседатель)
ТРУБЕЦКОЙ К.Н.
(сопредседатель)
АНТОНОВ Б.И.
ГАЛКИН В.А.
КОЗЯРУК А.Е.
КОСАРЕВ Н.П.
МЕРЗЛЯКОВ В.Г.
НЕСТЕРОВ В.И.
ЧЕРВЯКОВ С.А.

Редакционная коллегия:

АНДРЕЕВА Л.И.
ГАЛКИН В.И.
ГЛЕБОВ А.В.
ЕГОРОВ А.Н.
ЕДЫГЕНОВ Е.К.
ЖАБИН А.Б.
ЗЫРЯНОВ И.В.
КАРТАВЫЙ Н.Г.
КУЛАГИН В.П.
МИКИТЧЕНКО А.Я.
МЫШЛЯЕВ Б.К.
ПЕВЗНЕР Л.Д.
ПЛЮТОВ Ю.А.
ПОДЭРНИ Р.Ю.
САВЧЕНКО А.Я.
САМОЛАЗОВ А.В.
СЕМЕНОВ В.В.
СТАДНИК Н.И.
СТРАБЫКИН Н.Н.
ТРИФАНОВ Г.Д.
ХАЗАНОВИЧ Г.Ш.
(ответственный за номер)
ХОРЕШОК А.А.
ЮНГМЕЙСТЕР Д.А.

Редакция:

БЕЛЯНИНА О.В.
ДАНИЛИНА И.С.

Телефоны редакции:

(499) 269-53-97, 269-55-10

Факс (499) 269-55-10

E-mail: gma@novtex.ru
<http://novtex.ru/gormash>

СОДЕРЖАНИЕ

ЮБИЛЕЙ ШИ(ф) ЮРГТУ (НПИ)

Павленко А. В. Шахтинскому институту (филиалу) ЮРГТУ (НПИ) — 55! . . . 2

ВОСТОЧНЫЙ ДОНБАСС СЕГОДНЯ

Самофалов В. С. Состояние и перспективы развития угольной промышленности Восточного Донбасса 4

Аникушкин Г. А. ОАО "Ростовшахтострой" — мощная шахтостроительная организация в Восточном Донбассе 6

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СРЕДСТВ МЕХАНИЗАЦИИ ГОРНО-ПРОХОДЧЕСКИХ РАБОТ

Хазанович Г. Ш., Воронова Э. Ю. Конструктивные особенности и основные параметры агрегатированного взрывонавального проходческого комплекса 9

Сысоев Н. И., Мирный С. Г., Гринько Д. А. Мехатронная бурильная машина для угольных шахт Восточного Донбасса 17

НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Хазанович Г. Ш., Черных В. Г., Воронова Э. Ю., Отроков А. В. О некоторых направлениях разработки эффективного горно-проходческого оборудования 20

Хазанович Г. Ш., Афонина Н. Б., Отроков А. В. Физические закономерности процесса погрузки горной массы погрузочными органами с нагребающими звездами. 25

Хазанович В. Г. Развитие конструкций и классификация рабочих органов горно-проходческих машин с клиновыми погрузочными и транспортирующими элементами 31

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ГОРНО-ПРОХОДЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Хазанович Г. Ш., Черных В. Г., Петрашев В. Е. Технология работ и эксплуатация горно-проходческого оборудования при строительстве олимпийских объектов 38

СТАЦИОНАРНЫЕ УСТАНОВКИ

Хальфин М. Н., Еременко И. А. Метод выбора шахтных канатов 42

ГОРНАЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА

Волков Д. В. Выравнивание нагрузок тяговых электроприводов шахтного электровоза с асинхронными двигателями 44

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

Шахтинскому институту (филиалу) ЮРГТУ (НПИ) — 55!

В мае 2013 г. исполняется 55 лет с тех дней, когда было создано самое крупное подразделение в составе Новочеркасского политехнического института — его Шахтинский филиал, получивший путевку в жизнь на базе факультетов Новочеркасского политеха для подготовки инженерных кадров для Восточного Донбасса по основным горным специальностям. И если осенью 1958 г. в белокаменном здании в центре города Шахты начали обучение всего 300 студентов-первокурсников, то в настоящее время более 2,5 тыс. молодых людей получают инженерное образование по 17 различным специальностям. При этом число выпускников Шахтинского института (филиала) ЮРГТУ (НПИ) за 55 лет существования достигло внушительной цифры — около 15 000. Среди них главы администраций городов и районов, крупные руководители горного производства, заводов горного машиностроения, инженеры-эксплуатационники, научные работники: доктора и кандидаты наук, преподаватели вузов и колледжей.

Профессорско-преподавательский коллектив Шахтинского филиала со дня его образования трудится с полной отдачей сил. Здесь работали ученые, научные труды которых известны не только в нашей стране, но и за рубежом: профессора, доктора наук Н. В. Говоров, Г. М. Водяник, А. А. Евстратов, В. Я. Посыльный, А. Л. Малец, В. А. Матвеев, Э. В. Рылев, С. А. Щепетков. Важный вклад в становление и развитие вуза внесли его директора: А. А. Потехин, И. Ф. Люткевич, Ф. С. Сердюков, Д. П. Котельников, М. М. Вяльцев, В. А. Меркулов, В. В. Ленченко, Г. Ш. Хазанович, С. Г. Странданченко, М. Э. Шошиашвили.

Достойных успехов коллектив Шахтинского института добился в деле подготовки научных кадров высшей квалификации. Только с 1990 г. защищено 35 докторских и 183 кандидатских диссертации. Опубликована 201 монография, издано 165 учебников и учебных пособий с грифом Учебно-методических объединений, Минобрнауки РФ, более 6300 научных статей, по-

лучено более 250 патентов. Многие ученые института являются членами диссертационных советов.

Область научных исследований, выполняемых преподавателями, студентами, аспирантами и докторантами вуза, обширна: от проектирования энерго- и ресурсосберегающих технологий в различных отраслях промышленности, решения проблем технологии и механизации горного производства до социологических изысканий, проблем, связанных с воспитанием студентов, повышением качества учебного процесса и многих других.

Научные направления, заложенные ветеранами института, продолжают развиваться, растет их эффективность. Под руководством проф. Г. Ш. Хазановича сформировался коллектив ученых, усилиями которого создается проходческое оборудование, не имеющее аналогов в горном машиностроении. Идеи изобретений защищены более чем 50 патентами. В этом коллективе подготовлено два доктора наук: Ю. М. Ляшенко и А. С. Носенко. В последние годы разработаны и приняты Росстандартом государственные стандарты Российской Федерации по шахтным погрузочным и погрузочно-доставочным машинам.

Заслуживают внимания результаты работы ученых-горняков, исследующих проблемы поведения горного массива при ведении горных работ (руководитель проф., д-р техн. наук Н. В. Титов). Дальнейшее развитие получили идеи Заслуженного деятеля науки и техники РФ в этой области проф. В. А. Матвеева — одного из создателей струговой технологии выемки для антрацитовых шахт. Под его руководством решена важнейшая для ряда угледобывающих предприятий Гуковского района Восточного Донбасса задача — переход на способ управления кровлей в очистных забоях полным обрушением.

Активно продолжают исследования своего учителя — д-ра техн. наук, проф. В. Я. Посыльного в области нетопливного использования антрацитов — профессора Ю. И. Кураков и А. М. Безуглов. Развиваются исследования по совершенство-

ванию технологии и технических средств обогащения антрацитов (доц. А. Н. Петухов).

Значительными научными и практическими достижениями отмечена научная школа в области строительства подземных сооружений, основанная известным ученым и инженером проф. Н. К. Шафрановым. В этом научном направлении выполнены масштабные исследования технологии проведения и крепления шахтных стволов, горизонтальных и наклонных выработок. Многие ученые получили степени докторов наук — А. А. Ткачев, С. Г. Страданченко, А. Ю. Прокопов, М. С. Плешко. Звания профессора удостоен проработавший много лет И. А. Мартыненко.

Наряду с исследованием технических и технологических проблем учеными Шахтинского института решаются социальные и экономические задачи: научным направлением "Проблемы трансформации социально-институциональной системы российского общества" руководит проф., д-р фи-

лософских наук В. А. Чуланов, "Управление персоналом и экономика труда", "Экономика природопользования" — проф., д-р экономических наук Э. Ю. Черкесова.

Значительная отдача в плане дальнейшего совершенствования организации НИР ожидается и от недавно созданных научных центров: по развитию угольной промышленности Восточного Донбасса, который возглавили профессора В. Д. Кательников и В. А. Чуланов, прикладных социологических исследований под руководством проф. О. В. Бондаренко.

Наука в Шахтинском институте была и остается важнейшим направлением его дальнейшего развития, совершенствования учебного процесса и подготовки научных кадров высшей квалификации.

*Проректор — директор ШИ(ф) ЮРГТУ (НПИ),
д-р техн. наук, проф. А. В. Павленко*

С Юбилеем!



Д. И. Станислав,
мэр г. Шахты Ростовской обл.

*Директору Шахтинского института (филиала)
Южно-Российского государственного технического
университета (НПИ) им. М. И. Платова
А. В. Павленко*

Уважаемый Александр Валентинович!

Поздравляю Вас и весь коллектив Шахтинского филиала Южно-Российского государственного технического университета имени М. И. Платова с Юбилеем — 55-летием со дня образования!

Возглавляемый Вами институт продолжает оставаться одним из крупнейших и престижных на Юге нашей страны. Из его стен вышло немало грамотных специалистов и деятелей науки, сумевших реализовать свой потенциал и применить полученные знания в разных сферах деятель-

ности не только в России, но и за рубежом. В этом заслуга плеяды преподавателей, которые трудились и сейчас трудятся в стенах института.

Сегодня город Шахты развивается во многих направлениях, и он, безусловно, нуждается в квалифицированных кадрах. Возглавляемое Вами высшее учебное заведение вносит значительный вклад в выполнение этой важной задачи. Для этого у Шахтинского института ЮРГТУ (НПИ) есть хороший потенциал, заслуженная репутация, опытный коллектив, современные методики обучения. И, конечно же, желание шахтинской молодежи получить достойное высшее образование, благодаря которому они смогут применить свой талант, развить способности и стать достойными гражданами России.

Примите мою благодарность за вклад в развитие городской сферы образования и самые теплые пожелания Вам и всем работникам института успехов во всех делах и начинаниях, крепкого здоровья, благополучия и неиссякаемой энергии.

УДК 622.33 (470.61)

В. С. Самофалов, канд. техн. наук, гл. специалист,
Министерство промышленности и энергетики Ростовской области

E-mail: tmo-ptm@rambler.ru

Состояние и перспективы развития угольной промышленности Восточного Донбасса

Изложены краткая история добычи угля в Восточном Донбассе, состояние угольной промышленности в настоящее время и прогноз развития до 2030 г.

Ключевые слова: Восточный Донбасс, угольная промышленность, антрацит, история добычи угля, перспективы развития отрасли.

V. S. Samofalov

The State and Perspectives of Coal Mining Industry of Eastern Donbass

A short history of coal mining in Eastern Donbass the state of coal mining nowadays and the forecast of its development till 2030 are given.

Keywords: Eastern Donbass, coal mining industry, anthracite, history of coal mining, perspectives of the branch development.

Донские антрациты — уникальное высокотехнологическое сырье, а Ростовская область — основная угольная база юга страны [1]. На территории региона разведано 6,5 млрд т угольных ресурсов. Большая их часть (около 90 %) представлена запасами именно антрацита — лучшего в мире угля по калорийности. По качественным характеристикам ростовские антрациты являются уникальными. Они в основном не содержат метана и других вредных газов. Ростовские антрациты — не только превосходное топливо, но и ценное технологическое сырье. Глубокая переработка антрацита позволяет получить высокотехнологичные продукты, которые пользуются высоким спросом на мировом рынке: карбид кремния, высокотехнологичные фильтры, углеродистые добавки для производства стали, фильтры очистки воды, нефти, сточных вод, крови человека и другие.

Большую ценность, помимо антрацита, представляют запасы коксующегося угля [1]. Его доля составляет 5 % от общих балансовых запасов твердого топлива в Ростовской области. Запасы коксующегося угля составляют 135,3 млн т.

На территории Ростовской области добыча угля подземным способом ведется с конца XVIII века.

На Грушевском (Шахтинском) месторождении уже к 1844 г. работало около 80 шахт с годовым объемом добычи около 15 тыс. т. Истинный расцвет угледобычи в Восточном Донбассе происходил в 30-е, 40-е и послевоенные годы прошлого века, когда годовые объемы добычи угля достигали 30 млн т и более. Но большинство шахт региона эксплуатировалось длительное время, отработало благоприятные запасы, что отрицательно повлияло на себестоимость добываемого угля. При реструктуризации угольной отрасли, которая проходила в 1990-х гг., число действующих шахт Восточного Донбасса сократилось с 64 до 13 [1].

Сегодня на территории Ростовской области производственную деятельность осуществляют шесть угольных компаний, которые управляют в общей сложности девятью действующими шахтами (см. далее таблицу).

В 2011 г. угольными предприятиями области было добыто 5 млн 280 тыс. т угля, что составило 111,9 % от объема 2010 г. В 2012 г. шахтами Восточного Донбасса выдано на гора 5 млн 635 тыс. т угля. В 2011 г. объем инвестиций в угольные компании составил более 2 млрд руб. Увеличилось число действующих очистных забоев, выросли произво-

Сценарий развития добычи угля шахтами Восточного Донбасса

Шахта, собственник	Добыча угля, тыс. т, по годам					
	2012	2013	2014	2015	2020	2030
Действующие предприятия						
"Алмазная", угольная компания "Алмазная"	1000	600	600	600	0	0
"Ростовская", угольная компания "Алмазная"	450	450	Р	Р	450	450
"Дальняя", угольная компания "Алмазная"	300	600	600	600	600	600
"Замчаловская", компания "Русский уголь-Дон"	300	300	300	Р	350	350
"Обуховская", компания "Русский уголь-Дон"	300	600	900	1000	1200	1200
"Восточная", "Компания шахта Восточная"	400	400	400	700	700	700
Шахтоуправление "Садкинская", "Южная угольная компания"	2000	2000	2000	2000	2000	0
"Шерловская-Наклонная", компания "Донской уголь"	900	900	900	900	900	900
"Антрацит", компания "Шахта Антрацит"	200	450	600	600	900	900
"Гуковская", ЗАО УК "Гуковуголь"	К	Р	Р	600	900	1050
"№ 410", ООО "Сулинантрацит"	К	Р	Р	Р	400	400
"37-Сулинуголь", "Южная угольная компания"	К	Р	Р	600	900	1050
Строящиеся предприятия						
"Быстринская № 1—2", "Ростовская угольная компания"	0	0	600	750	750	1050
"Обуховская № 1", компания "Донской уголь"	0	0	0	1000	2400	2400
Проектируемые предприятия						
"Им. Б. Ф. Братченко", ЗАО "Новоростовская ГРЭС"	0	0	0	0	1400	1400
"Садкинская-Восточная № 2", "Южная угольная компания"	0	0	0	0	2500	2500
"Садкинская-Северная", "Южная угольная компания"	0	0	0	0	1400	2500
"Кадамовская", компания "Донской уголь"	0	0	0	0	750	750
Всего	5850	6300	6900	9200	18 000	17 650
Фактически добыто	5634,9					
Примечание: К — консервация; Р — реконструкция.						

дительность труда и среднесуточная нагрузка на очистной забой. Производительность труда рабочего по добыче увеличилась с 69,2 до 71,8 т/мес. (103,7 %). Увеличение добычи угля обусловлено высокопроизводительной работой шахт "Садкинская", "Восточная", "Шерловская-Наклонная" [1].

Коллектив шахтоуправления "Садкинское" впервые в Восточном Донбассе в 2011 г. добыл на шахте с одним очистным забоем более 2 млн т антрацита [2]. Еще более высокие показатели достигнуты в этом шахтоуправлении в 2012 г. — 2 млн 277 тыс. т. По итогам 2011—2012 гг. на угледобывающих пред-

приятиях региона впервые в посткризисный период выросла численность работающих.

Значительными достижениями характеризуются горно-проходческие работы. Коллектив проходчиков ОАО "Донуголь" в августе 2011 г. установил рекорд скорости проведения штрека буровзрывным способом не только в Восточном Донбассе, но и в угольной промышленности России — 250 м/мес [3].

Суммарная производственная мощность действующих угольных шахт составляет около 8,7 млн т горной массы в год. Угледобывающие предприятия Ростовской области способны в полной мере обеспечить текущие потребности в топливе населения, электростанций и промышленных предприятий области, отгружать уголь за пределы области, в страны ближнего и дальнего зарубежья. На основных и вспомогательных предприятиях в угольной промышленности области занято около 10 тыс. чел.

Развитие угольной отрасли на Дону включено в энергетическую стратегию страны. Ею до 2030 г. в Восточном Донбассе предусмотрено увеличение годового объема добычи угля до 13 млн т. Программой развития угольной промышленности Ростовской области определены более высокие темпы роста добычи угля. Принятая Правительством Ростовской области (Постановление от 05.07.2012 № 599) программа [4] представлена в таблице.

Как видно из прогнозов на 2013—2030 гг., объем добычи должен возрасти с 5,6 до 17,6 млн т. Должны быть построены четыре новые шахты с годовой производственной мощностью более 6,5 млн т, еще три шахты должны быть реконструированы.

Разработка и поэтапная реализация данной программы в рамках "Энергетической стратегии РФ" позволят создать тысячи новых рабочих мест, значительно увеличить налогооблагаемую базу, стабилизировать социально-экономическую ситуацию шахтерских территорий и решить существенный объем социально-экономических проблем региона.

Список литературы

1. Голубев В. Ю. Новый уголь Восточного Донбасса // Экономика и ТЭК сегодня. 2012. № 18. (<http://www.mnip.donland.ru>).
2. Шахта "Садкинская" — 2 миллиона на гора! // Газета "Пласт", Шахты, №48, 2012.
3. Успешное завершение года проходки в ОАО "Донуголь" // Газета "Пласт", Шахты, № 50, 2012.
4. Постановление Правительства Ростовской области от 05.07.2012 № 599 "Об утверждении Концепции развития угольной промышленности Ростовской области на период до 2030 года" // <http://base.consultant.ru>.



Г. А. Аникушкин, ген. директор, ОАО "Ростовшахтострой"

E-mail: mail@rsh.ru

ОАО "Ростовшахтострой" — мощная шахтостроительная организация в Восточном Донбассе



Изложены история становления и развития крупнейшего в России Открытого акционерного общества "Ростовшахтострой", структура и возможности компании, производственные достижения в строительстве крупных инженерных сооружений на всей территории России и Восточном Донбассе.

Ключевые слова: шахтостроительная компания, подземное строительство, монтажные работы, проектная деятельность, проходка вертикальных стволов, проходка горизонтальных и наклонных выработок, строительство шахт, строительство гидротехнических сооружений.

G. A. Anikushkin

The Open Joint-Stock Company "Rostovshakhtostroy" is a Powerful Mine Building Organization in Eastern Donbass

The history of coming into being and development of the largest in Russia open joint-stock company "Rostovshakhtostroy", the structure and possibilities of the company, production achievements in building large engineering constructions on the whole territory of Russia and in Eastern Donbass.

Keywords: mine building company, underground building, mounting works, designing activity, shaft, sinking, drifting, horizontal and inclined underground workings, mine building, building hydrotechnical constructions.

Открытое акционерное общество "Ростовшахтострой" является мощной шахтостроительной организацией, функционирующей в Восточном Донбассе с 1929 г. Общество является структурным подразделением Объединенной шахтостроительной компании "Союзспецстрой", в структуру которого также входит проектно-конструкторское бюро компании "Союзспецстрой", расположенной в г. Шахты.

Объединенная шахтостроительная компания специализируется на строительстве шахт, рудников, обогатительных фабрик, тоннелей, осуществляет монтаж технологического оборудования с полным комплексом пуско-наладочных работ, производя в сфере строительства также научно-исследовательские и проектно-изыскательские работы.

Для осуществления своей деятельности Объединенная шахтостроительная компания обладает полным комплектом лицензий:

- на проектирование зданий и сооружений первого и второго уровней ответственности;
- на строительство зданий и сооружений первого и второго уровней ответственности;
- на производство маркшейдерских работ;

на применение взрывчатых материалов промышленного назначения.

Обладая собственным проектным бюро, компания обеспечивает тесную взаимосвязь с проектными институтами и своевременное снабжение объекта строительства необходимой проектной документацией.

Основными направлениями деятельности проектно-конструкторского бюро являются:

- разработка нестандартного оборудования для проходки вертикальных и наклонных стволов;
- составление проектов производства работ и технологических регламентов ведения строительно-монтажных и горно-проходческих работ;
- выполнение расчетов оснований, фундаментов и строительных конструкций при проектировании зданий и сооружений.

Открытое акционерное общество "Ростовшахтострой" — ведущая шахтостроительная компания в России, более 80 лет специализирующаяся на всех видах подземного и надземного строительства, инжиниринга. Основная сфера деятельности компании — реализация проектов подземного и шахтного строительства, начиная со стадии проектирования и заканчивая сдачей объекта под ключ любой категории сложности.

ОАО "Ростовшахтострой" выполняет:
работы по строительству и реконструкции вертикальных стволов;

проходку наклонных и горизонтальных горных выработок;

промышленное и жилищное строительство;

строительство тоннелей;

строительство обогатительных фабрик;

монтаж технологического оборудования и пуско-наладочные работы.

ОАО "Ростовшахтострой" располагает мощной производственной базой в составе:

комбината строительных материалов;

Шахтинского ремонтно-механического завода (ШРМЗ), располагающего возможностями для изготовления металлоконструкций любой сложности: промышленных зданий, торговых центров; копров с подшипковыми площадками; коробчатых проводников и расстрелов для армировки стволов; металлических труб для проветривания забоев; металлической арочной крепи любого типоразмера; нестандартизированного оборудования для оснащения шахтных стволов, строительных площадок (опалубки, нулевые рамы, полки проходческие и т.д.);

Шахтомонтажного управления с участком пуско-наладочных работ и автоматики, лабораторией неразрушающего контроля и электротехнической лабораторией.

В состав ОАО "Ростовшахтострой" входит также ряд шахтопроходческих специализированных управлений:

Норильско-Мирнинское;

Кировское;

Шахтостройпроходческое;

Кемеровское.

За последние десять лет ОАО "Ростовшахтострой" были построены и введены в эксплуатацию объекты: кабельный тоннель и кабельная шахта Бурейской ГЭС — Амурская область;

эксплуатационный водосброс на Ирганайской ГЭС — Республика Дагестан;

скиповой ствол подземного рудника "Мир" — Республика Саха-Якутия;

шахта "Заполярная" — Республика Коми;

вертикальный ствол шахты "Северная вентиляция № 2" — Оренбургская область;

ствол шахты "Новая" (углубка с отметки — 1134,0 до отметки — 1418,7 м общей протяженностью 284 м) — Оренбургская область;

выработки рудника "Таймырский" — Красноярский край;

клетевой ствол рудника "Айхал" — Республика Саха-Якутия;

вентиляционно-вспомогательный ствол подземного рудника "Удачный" — Республика Саха-Якутия.

Также произведена замена канатной армировки скипового ствола подземного рудника "Узельгинский" и введена в действие шахта "Шерловская-Наклонная" — Ростовская область.

Шахта "Шерловская-Наклонная" — единственная шахта за последние 15 лет, построенная и введенная в эксплуатацию в Восточном Донбассе. На шахте был смонтирован современный монорельсовый транспорт с дизельным приводом (рис. 1).

На площадку шахты была проведена высоковольтная линия ЛЭП-110 кВт, построены подстанция, складской комплекс с автомобильной весовой, а также комплекс очистных сооружений шахтных вод, отвечающий всем экологическим требованиям.

Круг заказчиков ОАО "Ростовшахтострой" широк и включает горнорудные компании, добывающие полезные ископаемые на большой глубине, компании, осуществляющие строительство крупных гидротехнических сооружений, организации, осуществляющие развитие комплекса городской инфраструктуры и обслуживание городского хозяйства.

Компания располагает всем комплексом специального проходческого оборудования и высококвалифицированными кадрами инженеров и рабочих, имеющих большой опыт строительства промышленных и гражданских объектов любой сложности. Так, например, при строительстве ски-



Рис. 1. Строительство шахты "Шерловская-Наклонная":
вверху — здание отгрузки угля; внизу — монорельсовая дорога МДК



Рис. 2. Работы по продвижке копра скипового ствола при строительстве рудника "Мир", Якутия



Рис. 3. Строительство рудника "Удачный", Якутия: сверху — монтаж проходческих машин МПП-17,5; внизу — оснащенный для проходки ствол

пового ствола рудника "Мир" ЗАО "АК "АЛРОСА" (рис. 2) для сокращения срока строительства при устройстве ледопородного цилиндра были выполнены монтаж и продвижка копра на устье ствола. Специально для эксплуатации в условиях вечной мерзлоты было разработано, изготовлено на ШРМЗ и доставлено воздушным транспортом гидравлическое оборудование, которое обеспечило синхронность работы и высокую точность при производстве работ в экстремальных условиях Севера.

Проходческие работы вентиляционного вспомогательного ствола рудника "Удачный" ЗАО "АК "АЛРОСА" велись с применением бурильной ус-

тановки БУКС-1У5 и ствольной породопогрузочной машиной КС-2У/40 в сложных горно-геологических условиях. Высокая концентрация солей (до 420 г на 1 л воды), выделение метана и гомологов углеводородов, водорода и присутствие обильных нефтепроявлений потребовало выполнения предварительного тампонажа массива из груди забоя заходками по 40 м. Крепление ствола осуществлялось бетоном толщиной 500 мм и тубингами. Проходка горизонтальных и наклонных выработок осуществляется высокопроизводительной бурильной установкой BOOMER-281SL, погрузка и вывоз породы, а также доставка материалов к месту ведения работ выполняется погрузочно-доставочными машинами МПД-4, СТ-2Д. Имея опыт работ по креплению выработок с помощью торкрет-машины ALIVA на руднике "Таймырский", технологию набрызг-бетона по согласованию с Заказчиком ЗАО "АК "АЛРОСА" также применили для крепления выработок горизонтов рудника "Удачный" на отметке –580 и –360 м.

Работы при строительстве вентиляционного ствола на объекте ООО "Шахта "Бутовская" ведутся в условиях повышенного риска выброса метана, что приводит к необходимости при эксплуатации и обслуживании горно-проходческого оборудования использовать искро-взрывобезопасное оборудование и оборудование с применением пневмопривода. Следует отметить, что описанный выше ствол диаметром в свету 8 м, глубиной 774 м был пройден в период с августа по декабрь 2011 г.

В 2008 г. ОАО "Ростовшахтострой" получило международный сертификат в области качества, экологии и охраны труда "IQNet". Система качества успешно функционирует во всех подразделениях Общества. Наиболее ярким примером этого является выполнение работ по замене канатной армировки на жесткую скипового ствола на руднике "Узельгинский" ОАО "Учалинский" ГОК. Отделом главного маркшейдера была проведена профилировка стенок ствола через каждые 4200 мм, что позволило изготовить на ШРМЗ металлоконструкции армировки по индивидуальным размерам для каждого яруса. Точность измерений и изготовление в соответствии с результатами профилировки расстрелов и проводников позволили выполнить работы по монтажу жесткой армировки без замечаний и ранее установленного договором срока.

В настоящее время ОАО "Ростовшахтострой" ведет следующие работы:

- по проходке и оснащению клетьевого ствола, проходке горизонтальных выработок рудника "Удачный" — Республика Саха-Якутия (рис. 3);

- по проходке и армировке вентиляционного ствола шахты "Бутовская" — Кемеровская область;

- по армировке главного ствола рудника "Кировский" — Кировская область.

УДК 622.619

Г. Ш. Хазанович, д-р техн. наук, проф., **Э. Ю. Воронова**, канд. техн. наук, доц.,
ШИ(ф) ЮРГТУ (НПИ), г. Шахты

E-mail: gmo@itsinpi.ru

Конструктивные особенности и основные параметры агрегатированного взрывонавалочного проходческого комплекса

Обоснована актуальность вопроса повышения эффективности горно-проходческих работ путем создания проходческого оборудования нового технического уровня. Описаны конструктивные особенности проходческого взрывонавалочного комплекса. Рассмотрен алгоритм параметрического синтеза агрегатированных проходческих систем. Приведены результаты моделирования и технико-экономические показатели функционирования проходческого взрывонавалочного комплекса.

Ключевые слова: агрегатированная проходческая система, структурный синтез, параметрический синтез, критерий эффективности.

G. Sh. Khazanovich, E. Yu. Voronova

Constructive Peculiarities and the Main Parameters of Aggregative Blasting Bulk Driving Complex

Actuality of the problem of rising efficiency of mining driving works by cradling mining driving equipment of the new technical level is substantiated. Designing peculiarities of the driving explosive-bulk complex are described. Algorithm of parametrical synthesis of the unitized driving systems is considered. The results of modeling and technical-economical indices of functioning the explosive-blust complex are given.

Keywords: aggregative drifting system, structural synthesis, parametrical synthesis, efficiency criterion.

Актуальность проблемы

Как показано в работе [1], актуальной на ближайшую перспективу остается проблема повышения эффективности горно-проходческих работ.

Одним из перспективных вариантов таких решений признана разработка агрегатированных проходческих систем (АПС), представляющих собой комплексы функциональных элементов, выполняющих различные операции проходческого цикла и объединенных кинематическими и/или конструктивными связями на едином базовом элементе. Анализ существующих АПС (буропогрузочных машин, комплексов типа "Сибирь", комбайновых комплексов типа "Болтер Майнер", КН-5Н "Кузбасс", КПА (Украина) и т. д.) показал, что их использование, в отличие от традиционных комплектов отдельных операционных машин,

позволяет исключать или совмещать операции проходческого цикла и тем самым снижать цикличность процесса проходки.

Для создания агрегатированных систем разработан алгоритм этапов структурного синтеза, позволяющий для заданных условий эксплуатации синтезировать группу вариантов потенциально эффективных агрегатированных структур проходческих комплексов. Подробное описание порядка процедур структурного синтеза и результаты его использования даны в [1]. Одним из результатов явилась разработка структуры АПС, получившей конструктивное воплощение в виде взрывонавалочного проходческого комплекса ПКВН (рис. 1), принцип работы которого не имеет аналогов в мировой практике.

Конструктивные особенности ПКВН

Основные аспекты эскизной проработки конструкции комплекса ПКВН опубликованы в работе [2]. К настоящему времени осуществлена более детальная проработка отдельных элементов и комплекса в целом. Комплекс состоит из клинового перегружателя 1, бункера для взрывонавалки, состоящего из прямых 2, наклонных 3, поворотных 4 и передних поворотных 5 бортов, механизма самопередвижки 6, насосной станции, пульта управления 7, гидравлического манипулятора 8 с бурильной машиной 9 на порталной тележке 10, перемещающейся по направляющим 11, предохранительной крепи, включающей стойки 12 и предохра-

тельный щит 13, имеющий поворотную секцию 14. Предохранительная крепь перемещается по направляющим 15 на наклонных бортах 3 бункера для взрывонавалки посредством ходовых кареток 16. Поворотная секция 14 предохранительного щита 13 крепится к нему при помощи шарнирных соединений 17. Подъем и удержание поворотной секции в горизонтальном положении, а также опускание поворотной секции осуществляются гидроцилиндром 18. Управление передними секциями осуществляется с пульта управления 7. Возратно-поступательное движение тягово-транспортного органа клинового перегружателя 1 осуществляется гидроцилиндрами 19.

Порядок работы ПКВН следующий. Перед началом взрывных работ комплекс располагается у груди забоя. Бурильное оборудование 8—10 отводится в хвостовую часть бункера для взрывонавалки. Предохранительная крепь также перемещается в хвостовую часть бункера для взрывонавалки и располагается над бурильным оборудованием. Гидроцилиндры 18 складываются и опускают поворотные секции 14 предохранительного щита, которые защищают бурильное оборудование от разлетающихся кусков горной массы при взрыве. После взрывания шпуров начинается выгрузка основной части штабеля клиновым перегружателем 1 на скребковый конвейер 20. Горная масса, попавшая на борта бункера для взрывонавалки, при помощи гидроцилиндров 21 бортов бункера и самотеком ссыпается на клиновой перегружатель 1 и также подается на конвейер 20. Перед началом подъема поворотных бортов 4 бункера для взрывонавалки гидроцилиндры 18 раздвигаются и поднимают поворотную секцию 14 предохранительной крепи.

По мере выгрузки штабеля производится подвигание комплекса к груди забоя механизмом самопередвижки 6, состоящим

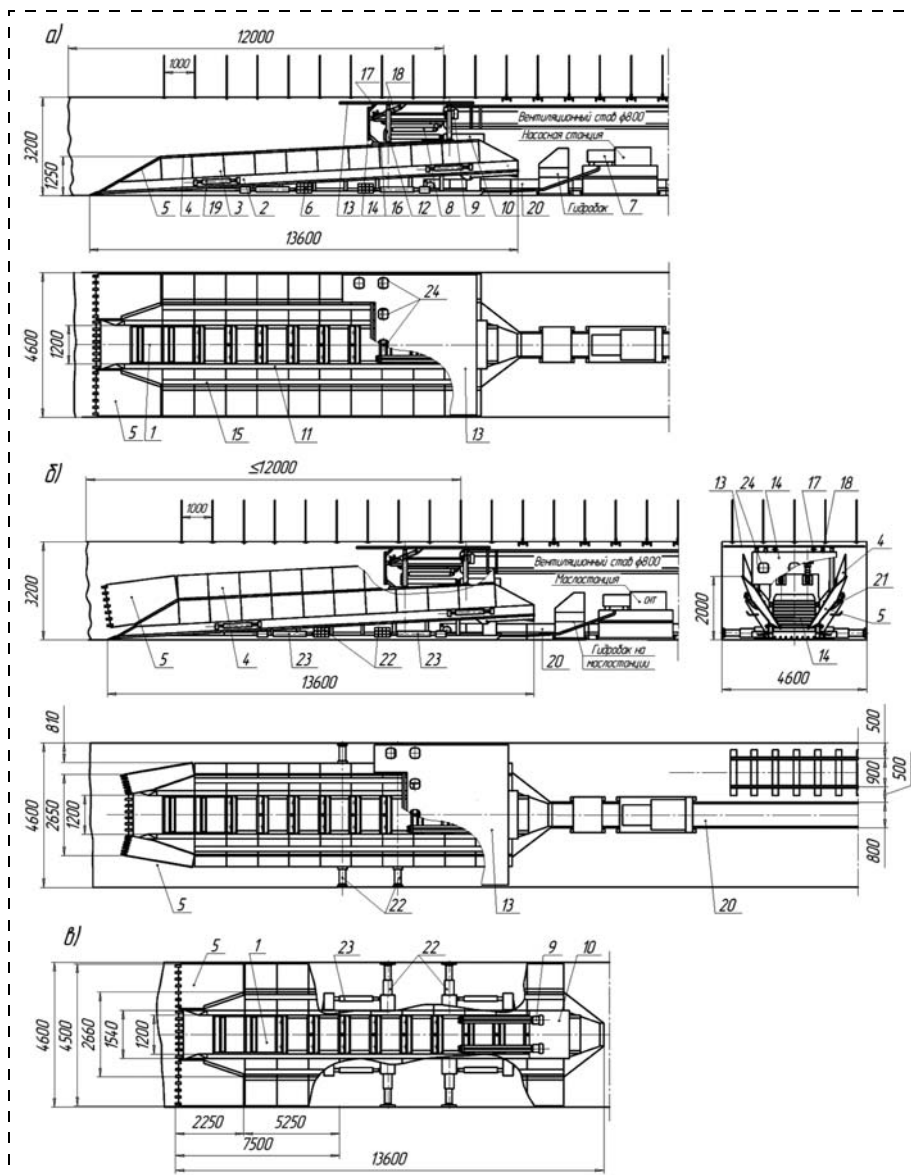


Рис. 1. Агрегатированный проходческий взрывонавалочный комплекс ПКВН: а — расположение оборудования перед взрывными работами (борта опущены); б — расположение оборудования после выгрузки горной массы (борта подняты); в — расположение гидроцилиндров механизма самопередвижки

из распорных 22 и подающих 23 гидроцилиндров. При этом оставшаяся часть штабеля попадает на клиновой перегружатель 1 и транспортируется на скребковый конвейер 20. По окончании выгрузки всего объема горной массы бурильное оборудование 8—10 под защитой предохранительной крепи перемещается по направляющим 11 к забою для бурения шпуров под анкеры. Предохранительная крепь перемещается вдоль бункера для взрывонавалки по направляющим 15 при помощи ходовых кареток 16 и устанавливается в проектное положение, позволяющее бурить шпур под анкеры сквозь отверстия 24 в предохранительных щитах. Бурильное оборудование также перемещается в проектное положение для обурирования кровли и установки анкером.

Затем бурильное оборудование с предохранительной крепью перемещается к забою для бурения взрывных шпуров. После обурирования забоя цикл работ повторяется. К настоящему времени конструкция ПКВН, по сравнению с ранее опубликованной, обрела новые конструктивные особенности, обладающие рядом преимуществ, в частности:

- щит предохранительной крепи оснащен поворотной секцией, которая, при расположении крепи в хвостовой части комплекса, опускается и защищает бурильное оборудование от действия взрыва;

- в хвостовой части комплекса расположен крепеустановщик для монтажа постоянной крепи в виде сетчатой затяжки с металлическим подхватом (подробное описание данной конструкции не приводится, так как поданная по нему заявка на изобретение еще не получила положительного решения);

- портальная тележка бурильного оборудования оснащена специальными приспособлениями для фиксации относительно комплекса, так как при бурении возникают значительные динамические нагрузки (подробное описание приспособлений не приводится по аналогичной причине);

- распорно-подающий механизм самопередвижки комплекса состоит из двух частей, первая из которых перемещает комплекс вперед, а вторая — назад. Каждая часть имеет два распорных гидроцилиндра, упирающихся в борта выработки, и два подающих гидроцилиндра, перемещающих комплекс, при этом первая расположена в головной части комплекса, а вторая — в хвостовой. Такое расположение вызвано необходимостью обеспечить работу конструкции комплекса на растяжение, поскольку работа на сжатие может привести к деформации конструкции;

увеличено число ребер жесткости в конструкции бункера для взрывонавалки, оптимизирована толщина бортов бункера, уточнено место расположения частей механизма самопередвижки. Перечисленные корректировки внесены на основе результатов исследования напряженно-деформированного состояния конструкции ПКВН методом конечных элементов, выполненного в рамках Федеральной целевой программы "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России" по теме "Разработка высокоэффективного горно-проходческого оборудования нового технического уровня" с участием Т. П. Головневой и М. К. Абдулкаримова;

увеличен угол подъема поворотных бортов комплекса с 50 до 72°, что позволило обеспечить свободный проход людей в призабойную зону с обеих сторон комплекса.

Алгоритм этапов параметрического синтеза АПС

Выбор наилучших параметров агрегатированных проходческих систем — многомерная задача особой сложности, поскольку АПС представляет собой конструктивно и кинематически взаимосвязанные подсистемы, каждая из которых выполняет различные по физической сущности технологические функции: работы по разрушению массива (буровзрывным или механическим способом), погрузочно-транспортные операции и процессы закрепления обнажений. Каждая из подсистем характеризуется своим набором параметров, определяющих эффективность технологического процесса. При этом общее число искомых переменных может достигать нескольких десятков. Для нахождения наилучшего сочетания необходимо установить взаимосвязей между разнородными процессами и параметрами, от которых зависит результативность всей проходческой системы.

Поэтому при выборе оптимальных параметров, обеспечивающих достижение экстремума целевой функции, особенно актуален учет следующих методологических особенностей теории исследования операций [3]:

- 1) необходимость применения специфического научного метода, содержащего следующие этапы исследования: выбор целевой функции; построение математических моделей исследуемого процесса (функций цели и ограничений); определение необходимой информации; отыскание и анализ оптимального решения с помощью одного из методов математического программирования;

- 2) применение основополагающих принципов системного подхода, заключающихся в необходи-

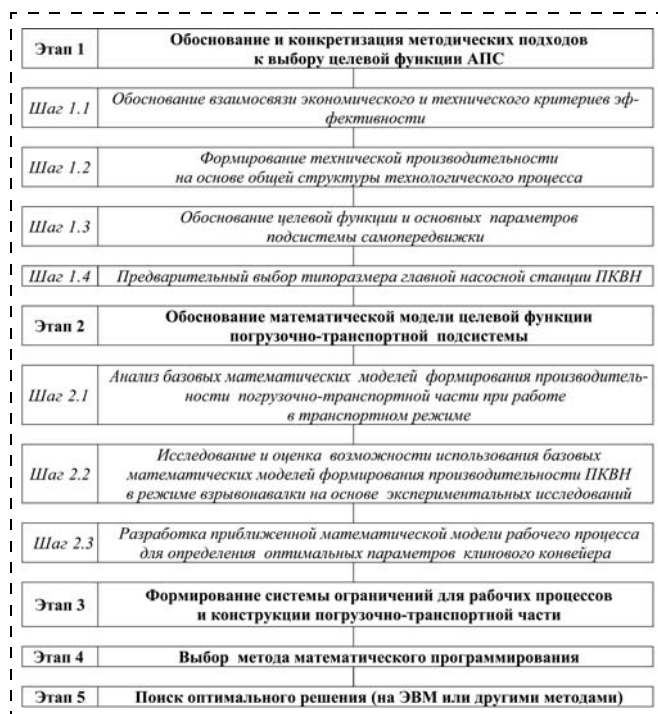


Рис. 2. Алгоритм оптимизации параметров ПКВН с использованием процедур исследования операций

мости учитывать изменения функционирования системы при воздействии на ее части; необходимо установление всех существенных связей в системе, которые могут быть нарушены или деформированы при выборе конкретного решения частной задачи.

На основе изложенного разработан алгоритм оптимизации параметров комплекса ПКВН, представленный на рис. 2.

Этап 1 в общем алгоритме является подготовительным. В нем проводится разделение системы на подсистемы, обоснование технического критерия эффективности всей системы и выбор предварительных параметров отдельных подсистем. В то же время этап 1 является наиболее ответственным, так как ошибка при выборе целевой функции может привести к результату, не обеспечивающему необходимой эффективности.

Шаг 1.1. Общеизвестным критерием при оптимизации параметров проходческих машин является минимум затрат при выполнении заданного объема горно-проходческих работ в установленные сроки. В связи с неоднозначностью понятия "затраты", а также процедур их количественного определения, выполнены исследования сущности затратных категорий — хозрасчетной себестоимости, общественно необходимых издержек производства, приведенных затрат — применительно к особенностям горно-проходческих работ с исполь-

зованием методологии системного анализа [4]. Отмечая противоречивые свойства экономических критериев, нестабильность экономической ситуации, в работе [4] предложена непротиворечивая процедура оценки эффективности вариантов. Суть ее заключается в том, что в качестве базового критерия принимается хозрасчетная себестоимость $C_{хр}$, минимум которой может в первом приближении рассматриваться как возможное решение. Оценивается также влияние изменения состава параметрического ряда проходческих машин на уровень приведенных затрат, издержек производства, производительности труда. Если тенденции совпадают и выбранный по минимуму $C_{хр}$ вариант является устойчиво лучшим по другим критериям, то такой вариант будет объективно оптимальным. При возникновении противоречивых тенденций ситуация подвергается дополнительному, более глубокому исследованию, на основе которого принимается компромиссное решение.

Однако в этом случае возникает ряд методических проблем, которые трудно разрешимы на этапе синтеза комплекса нового технического уровня. В частности, мало изученными являются вопросы установления цен на машины разных типоразмеров, затраты на техническое обслуживание и другие экономические категории. В связи с этим признано целесообразным на основе изучения общих взаимосвязей затрат на выполнение проходческих операций и параметров агрегированного комплекса найти более простые технические критерии, не противоречащие исходному экономическому показателю.

На основе анализа процесса проведения выработки агрегированным комплексом ПКВН выведена экономико-математическая модель себестоимости его функционирования:

$$C = C_0 + \frac{A_{зп}}{Q} + B_{зп} + \beta \frac{\Pi_{\text{компл}}(N) + \Pi_{\text{сп}} + K_{\text{сп}} \alpha_m K_{mq} Q^n}{Q T_n}, \quad (1)$$

где C_0 — суммарные удельные затраты на материалы, энергию, монтаж-демонтаж комплекса, которые без существенных ошибок могут быть приняты статистически постоянными, руб./м³; $A_{зп}$, $B_{зп}$ — коэффициенты, учитывающие затраты на доплаты, начисления и заработную плату проходчиков, слесарей и инженерно-технических работников, руб./мин и руб./м³ соответственно; β — коэффициент пропорциональности при определении удель-

ных амортизационных отчислений; $U_{\text{компл}}(N)$ — цена комплектующих серийных изделий как функция мощности привода, руб.; $U_{\text{сп}}$ — постоянная составляющая цены изделий специализированного изготовления, руб.; $K_{\text{сп}}$ — коэффициент пропорциональности между ценой и массой; α_m — доля общей массы машины, приходящаяся на узлы специального назначения; $K_{mq}Q^n$ — конструктивно необходимая масса агрегата; n — показатель степени, зависящий от соотношения между конструктивной и конструктивно необходимой массой агрегата, $n \leq 1$; Q — производительность за чистое время работы, м³/ч (в разрыхленном состоянии); T_n — срок службы комплекса, ч.

Выражение (1) содержит ряд постоянных членов (C_0 , $B_{\text{зп}}$) и слагаемые, зависящие от двух переменных Q и N . С увеличением N цена комплектующих изделий всех видов растет существенно медленнее мощности. Это можно проследить на примерах изменения цен электро-, гидрооборудования и т. д. Но так как для машин с оптимальными параметрами Q примерно пропорционально N , то в числителе дроби, выражающей затраты на реновацию и капитальный ремонт, каждое из слагаемых, кроме $U_{\text{сп}}$, растет медленнее, чем производительность комплекса за чистое время работы.

Отсюда следует существенный вывод: в качестве *целевой функции* при оптимизации параметров проходческих взрывонавалочных комплексов типа ПКВН может быть принята производительность за чистое время работы Q . Машины, оптимальные по производительности, оптимальны и по хозрасчетной себестоимости. В дальнейшем $Q(x_i)$, $i = 1, 2 \dots J$ принята в качестве функции цели, где x_i — совокупность искомых оптимизируемых параметров.

Суммарная трудоемкость операций проходческого цикла определяется выражением

$$\Sigma \tau_0 = \frac{n_{\text{пр}} K_p}{Q}, \quad (2)$$

где $n_{\text{пр}}$ — численность проходчиков, чел.; K_p — коэффициент разрыхления.

При $Q \rightarrow \max \Sigma \tau_0 \rightarrow \min$, поэтому суммарная трудоемкость $\Sigma \tau_0$ и производительность Q в роли функции цели адекватны друг другу.

Таким образом, оптимальным является сочетание параметров конструкции агрегатированного комплекса, обеспечивающее максимальную производительность за чистое время его работы.

Шаг 1.2. Известно [5], что производительность буровзрывного комплекса как многооперацион-

ной системы в общем случае определяется соотношением

$$Q_{\Sigma} = \frac{1}{\sum_{i=1}^{m-1} \left(\frac{1 - K_{ci(i+1)}}{Q_i} \right) + \frac{1}{Q_m}}, \quad (3)$$

где Q_i — производительность i -го технологического процесса, м³/ч, $i = 1, 2 \dots m - 1$; m — общее число процессов для реализации цикла проходки; $K_{ci(i+1)}$ — коэффициент попарного совмещения операций, $K_{ci(i+1)} \leq 1$; Q_m — производительность процесса, завершающего проходческий цикл.

Совокупность технологических операций, выполняемых последовательно, при использовании взрывонавалочного комплекса для достижения конечного результата — величины подвигания выработки за один проходческий цикл $l = 2$ м, представлена в таблице.

Для построения математической модели производительности агрегатированного комплекса Q_{Σ}

Последовательность технологических операций цикла

№	Выполняемые операции
1	Подготовительные работы к бурению шпуров по забою
1.1	Подача к забою щитов предохранительной крепи и закрепление их в забое
1.2	Приведение забоя в безопасное состояние
1.3	Догрузка вручную остаточного объема породы
1.4	Расконсервирование и подача к забою портала с бурильными установками
1.5	Закрепление портала относительно рамы клинового конвейера, выведение бурильной подсистемы в рабочее состояние для бурения нижних шпуров под защитой предохранительной крепи
2	Бурение шпуров двумя гидравлическими бурильными машинами под защитой предохранительной крепи
3	Бурение шпуров под анкерную крепь и установка анкеров
3.1	Установка бурильных машин в положение для бурения анкерных шпуров
3.2	Бурение анкерных шпуров двумя гидравлическими бурильными головками ударно-вращательного действия с промывкой под защитой предохранительной крепи и установка анкеров через отверстия в щитах предохранительной крепи
3.3	Отвод портала с бурильными установками от забоя в положение защиты от взрыва, освобождение пространства для работы взрывников по заряданию шпуров
4	Зарядание, взрывание шпуров и подготовка комплекса к приему горной массы после взрывонавалки
4.1	Зарядание шпуров, монтаж, прокладка взрывной сети, взрывание
4.2	Отвод от забоя щитов предохранительной крепи перед взрыванием
4.3	Подвигание комплекса к забою перед взрывом, опускание бортов
5	Безлюдная погрузка и транспортировка горной массы из забоя с одновременным проветриванием забоя и подвиганием комплекса к забою
6	Отдвигание комплекса от забоя на расстояние, необходимое для работы бурильного оборудования
7	Наращивание скребкового конвейера, вентиляционного става, коммуникаций
8	Прочие операции, непредусмотренные графиком

согласно выражению (3) необходимо для каждой операции (см. таблицу) определить ее удельную долю в единице объема проходки в физических единицах, вычислить приведенную производительность Q_i , степень совмещения данной i -й операции с $(i + 1)$ -й с помощью коэффициента $K_{ci(i + 1)}$. Результирующее выражение будет отличаться громоздкостью, большим числом переменных и сложностью применения для моделирования в целях выбора оптимальных параметров рассматриваемого комплекса.

В целях упрощения задачи выбора наилучших параметров системы предлагается разделить ее на три основные подсистемы, от которых производительность на выходе зависит в наибольшей степени:

1) погрузочно-транспортную подсистему, состоящую из базового несущего става (бункера для взрывонавалки), клинового погрузочно-транспортного органа и силовой энергетической установки (насосной станции с блоком управления и защиты);

2) бурильную и анкероустановочную подсистему, состоящую из передвижного портала и двух манипуляционных устройств с бурильными модулями;

3) подсистему самопередвижки комплекса к забою и обратно с помощью специализированного распорно-подающего механизма.

Для обеспечения максимальной производительности ПКВН необходимо и достаточно выбрать параметры каждой из этих подсистем так, чтобы приведенная производительность каждой из них была предельно возможной. При этом, очевидно, нужно учитывать ограничения, накладываемые конструкцией комплекса и возможностями энерговооруженности подсистем, каждая из которых должна иметь свой независимый источник энергообеспечения гидравлической энергией высокого давления, что обусловлено существенными различиями параметров расхода и давления на входах исполнительных органов механизмов (погрузочно-транспортного, бурильного и самопередвижки) комплекса.

На основании изложенного принято решение проводить оптимизацию параметров каждой подсистемы в отдельности.

Шаг 1.3. Параметры подсистемы передвижки должны определяться предварительно независимо от других подсистем с последующей корректировкой выбранных параметров по итогам оптимизации главной подсистемы — погрузочно-транспортной. Такой подход обеспечит применение метода постепенного приближения и упростит решение большой масштабной задачи. Предварительные

результаты определения главных параметров подсистемы передвижки ПКВН приведены ниже.

Основные параметры подсистемы самопередвижки комплекса

Потребное усилие распора в стенку горной выработки, кН	276,4
Скорость перемещения штока распорных гидроцилиндров, м/с	0,05
Число гидроцилиндров распора, шт.	2
Диаметры поршня/штока гидроцилиндров распора, мм	100/50
Максимальное расчетное усилие распора в стенку выработки двух гидроцилиндров при работе поршневыми полостями, кН	345,4
Потребное тяговое усилие механизма передвижки, кН	204,8
Максимальное расчетное тяговое усилие механизма передвижки, кН	221,1
Скорость передвижки комплекса к забою, м/с	0,05
Число гидроцилиндров передвижки, шт.	2
Диаметры поршня/штока гидроцилиндров передвижки (2 гидроцилиндра с передвижением поршневой полостью), мм	80/40

Шаг 1.4. Предварительно определяется типоразмер насосной станции, энерговооруженность которой является общим параметром для основных функциональных подсистем комплекса — бурильной и погрузочно-транспортной. По существу, типоразмер насосной станции определяет главное ограничение системы. Каждому типоразмеру главной насосной станции должен соответствовать определенный набор оптимальных параметров АПС и область ее применения по габаритам выработки и физико-механическим свойствам горных пород.

На основе результатов расчетов максимального усилия перемещения клинового тягово-транспортного органа (ТТО) и подачи насоса для обеспечения необходимой производительности погрузочно-транспортной части комплекса принята насосная станция СНЕ-150/32.

Этап 2 посвящен разработке и обоснованию математических моделей целевой функции погрузочно-транспортной подсистемы.

Шаг 2.1. Рассматриваются базовые математические модели производительности погрузочно-транспортной части в транспортном режиме, когда высота транспортируемого слоя горной массы относительно высоты клиньев невелика. Основные закономерности передачи груза из одной ячейки клинового ТТО в другую для этого режима хорошо изучены [5] и могут быть использованы для формирования математической модели производительности клинового ТТО.

Шаг 2.2. Уточняются закономерности рабочих процессов при работе клинового ТТО в режиме взрывонавалки.

Шаг 2.3. Разрабатывается адекватная приближенная математическая модель производительности ТТО, которая позволяет провести выбор наилучших параметров погрузочно-транспортной подсистемы.

Для выбора оптимальных параметров клинового ТТО использованы результаты натурных экспериментальных исследований конвейера под завалом горной массы [6]. Предварительные результаты выбора параметров приведены ниже.

Конструктивные параметры погрузочно-транспортной части ПКВН

Длина клиновой погрузочно-транспортной части, м . . .	14
Ширина клина, м	1,2
Высота подвижного клина, м	0,2
Высота неподвижного клина, м	0,16
Угол заострения подвижного клина, °	35
Толщина днища, м	0,015
Коэффициент трения стали по стали	0,23
Комбинированный коэффициент трения породы о ТТО	0,75
Привод ТТО:	
Тип	Насосная станция СНЕ-150/32
Подача насоса, л/мин	90
Рабочее давление, МПа	242
Настройка предохранительного клапана, МПа . .	32
Мощность двигателя, кВт	55
Объемный гидропривод ТТО	2 пары гидроцилиндров поочередного действия
Диаметры поршня/штока гидропривода, мм	100/50
Скорость движения ТТО в рабочем ходе, м/с	0,18
Скорость движения ТТО в обратном ходе, м/с	0,18
Продолжительность цикла, с	11,0
Средний грузопоток за чистое время погрузки-транспортирования, м ³ /мин	3,68
Тяговое усилие двух гидроцилиндров при работе поршневой полостью, кН	314
Тяговое усилие двух гидроцилиндров при работе штоковой полостью, кН	154
Усилие, необходимое для перемещения клинового ТТО при рабочем и обратном ходе, кН	9,7
Максимальное усилие для перемещения горной массы эквивалентной высотой в 4 высоты подвижного клина и шириной на 0,5 м больше ширины клина при прямом ходе, кН	370,2
Максимальное усилие для перемещения горной массы эквивалентной высотой в 2 высоты подвижного клина и шириной на 0,5 м больше ширины клина при обратном ходе, кН	238
Общее необходимое максимальное тяговое усилие при работе поршневой полостью, кН	366,7
Общее необходимое максимальное тяговое усилие при работе штоковой полостью, кН	247,7
Мощность двигателя насосной станции при рабочем ходе, кВт	114,5
Мощность двигателя насосной станции при обратном ходе, кВт	87,5
Эквивалентная мощность двигателя насосной станции с учетом коэффициента использования двигателя во времени 0,8, кВт	92,23

Этап 3 включает формирование геометрических, кинематических, силовых и энергетических ограничений, представляет собой самостоятельную задачу и будет освещен в последующих работах.

Этапы 4 и 5 являются типовыми для решения подобного рода задач и особых разъяснений не требуют.

Бурильная подсистема представляет собой относительно автономный модуль, элементы которого (бурильные головки, манипуляторы и т. д.) могут

быть подобраны из разработанных к настоящему времени образцов с максимальной производительностью и с учетом ограничений по размерам сечения выработки. Предварительно в качестве бурильного оборудования принято отечественное навесное оборудование от бурильной установки УБШ-316 — гидроперфораторы ГП-101.

Однако на основе принципов системного подхода в качестве целевой функции принимается результирующая производительность двух основных частей комплекса — погрузочно-транспортной и бурильной (для бурения шпуров по забою), которые взаимосвязаны через показатель крупности горной массы. С одной стороны, средняя крупность $d_{ср}$ и гранулометрический состав горной массы $f(d)$ по результатам буровзрывных работ зависит от удельного числа шпурометров $l_{уд}$, шпм/м³, приходящихся на единицу объема горной породы в массиве. Очевидно, что с уменьшением $l_{уд}$ увеличивается $d_{ср}$ и меняется функция распределения гранулометрического состава $f(d)$ в сторону увеличения доли крупных кусков в общем объеме штабеля. При этом продолжительность бурения уменьшается и соответственно растет производительность системы. С другой стороны, увеличение крупности существенно влияет на производительность клинового ТТО через возрастание высоты транспортируемого слоя при проталкивании. При этом, по-видимому, потребуются более габаритные клинья, возрастут тяговые усилия механизма возвратно-поступательного движения клинового ТТО и необходимые энергозатраты.

Таким образом, в качестве целевой функции при оптимизации параметров ПКВН необходимо принять суммарную производительность погрузочно-транспортной и бурильной подсистем с введением весового коэффициента $K_{эн}$, учитывающего удельные энергозатраты.

Математическая модель целевой функции

$$Q_{\Sigma} = \left[\frac{Q_{ПТ} Q_{бур}}{Q_{ПТ} + Q_{бур}} \right] K_{эн},$$

где $Q_{ПТ}$, $Q_{бур}$ — приведенные к объему готовой выработки производительности соответственно погрузочно-транспортной и бурильной подсистем комплекса, м³/ч.

Решение полной задачи оптимизации параметров ПКВН требует установления зависимости крупности горной массы после буровзрывных работ $d_{ср}$ от удельного числа шпуров $l_{уд}$, а также более глубоких исследований рабочих процессов клино-

вого ТТО при различном гранулометрическом составе штабеля. Эти исследования планируется выполнить в натурных условиях и на действующей физической модели, представляющей собой малый типоразмер комплекса в масштабе 1:4.

Предварительные результаты моделирования технико-экономических показателей проходки и условия, для которых они определены, представлены ниже.

Условия и результаты моделирования работы ПКВН

Форма поперечного сечения	Прямоугольная
Площадь поперечного сечения в проходке, м ²	14,72
Угол наклона, °	0
Крепость породы по шкале проф. М. М. Протодяконова	10
Коэффициент разрыхления	2,0
Средняя глубина шпуров, м	2,2
Число шпуров на цикл, шп	60
Число шпурометров на цикл, шпм	132
Число анкеров на цикл	10
Число шпурометров при бурении шпуров под анкера ..	18
Режим работы	3 смены — рабочее, одна — ремонтно-подготовительная
Подвигание за цикл, м	2
Число рабочих дней в месяце	25
Расчетная производительность комплекса, пог. м/смену	2
Скорость проведения выработки м/мес	150
Удельная трудоемкость проходки, чел.-мин/м ³	50
Производительность труда рабочих, м ³ /чел.-смену	7,3
Численность рабочих в звене, чел.	4

Анализ расчетных значений свидетельствует о высоких технико-экономических показателях комплекса, прежде всего, по производительности труда рабочих. Для сравнения, при использовании оборудования в составе погрузочных машин 2ПНБ-2 или МПК-1000Т в сочетании с бурильными установками УБШ-313 и призабойным конвейером СП-202 максимальная производительность труда на выход не превышает 2,5 м³.

Главным преимуществом комплекса ПКВН является совмещение во времени операций погрузки, призабойного транспорта и проветривания при практически безлюдном выполнении этих операций. При этом производительность погрузочно-транспортной части комплекса в 2—2,5 раза превышает достигнутые показатели серийных погрузочных машин.

Реальная скорость проходки может быть повышена до 200...250 м/мес за счет использования резервной четвертой смены и выполнения профилактических работ в промежутках между сменами и в воскресные дни, а также при применении более производительных бурильных машин.

Выводы

1. Разработаны новые элементы в компоновке и усовершенствована конструкция узлов проходческого взрывонавалочного комплекса ПКВН, не имеющего аналогов в мировой практике, позволяющего совмещать операции проходческого цикла, реализовать поточно-циклическую технологию проходки и значительно повысить производительность труда по сравнению с существующей буровзрывной технологией.

2. Разработан общий алгоритм этапов параметрической оптимизации комплекса ПКВН, отличающийся возможностью локальной оптимизации погрузочно-транспортной и бурильной части комплекса.

3. Доказано, что в качестве целевой функции при выборе оптимальных параметров ПКВН необходимо использовать производительность за чистое время работы.

4. В качестве основного ограничения при проектировании конкретного типоразмера взрывонавалочного комплекса должен выступать типоразмер насосной станции.

5. Для проектируемого комплекса с насосной станцией мощностью 55 кВт выбраны параметры распорно-подающего устройства.

6. Установлена прогнозная расчетная технико-экономическая эффективность взрывонавалочного комплекса, существенно превышающая результаты, достигаемые при использовании традиционных наборов горно-проходческого оборудования.

Список литературы

1. Воронова Э. Ю. Структурный синтез агрегатированных проходческих систем // Горное оборудование и электромеханика. 2013. № 1. С. 32—39.
2. Хазанович Г. Ш., Воронова Э. Ю. Усовершенствование проходческого комплекса для проведения горных выработок по крепким породам с использованием взрывонавалочных технологий // Горное оборудование и электромеханика. 2009. № 7. С. 2—4.
3. Вентцель Е. С. Исследование операций. М.: Советское радио, 1972. 551 с.
4. Ляшенко И. В. Системное исследование проблем интенсификации процессов добычи угля. М.: Недра, 1983. 242 с.
5. Хазанович Г. Ш. Буровзрывные проходческие системы: учеб. пособие / Г. Ш. Хазанович, В. В. Ленченко // Юж.-Рос. гос. техн. ун-т. Новочеркасск: ЮРГТУ, 2000. 504 с.
6. Ляшенко Ю. М., Отроков А. В. Исследование и моделирование процессов погрузочно-транспортных модулей для взрывонавалочных технологий // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2000. № 4. С. 143—145.

Н. И. Сысоев, д-р техн. наук, проф., **С. Г. Мирный**, канд. техн. наук, доц., **Д. А. Гринько**, асп.,
ЮРГТУ (НПИ), г. Новочеркасск

E-mail: SysoevNI@npi-tu.ru

Мехатронная бурильная машина для угольных шахт Восточного Донбасса

Предложено новое техническое решение по повышению производительности бурильной машины на основе применения мехатронных модулей движения инструмента. Обоснована целевая функция — максимум технической производительности, алгоритм управления режимами бурения и структурная схема машины.

Ключевые слова: бурильная машина, режимные параметры, мехатроника, алгоритм управления.

N. I. Sysoev, S. G. Mirniy, D. A. Grinko

Drilling Machine Mechatronic Class for Coal Mines of Eastern Donbass

New technical solution to improve the performance of drilling machine through the use of mechatronic modules of movement of the tool is offered. The objective function that is maximum of technical performance, drilling technique control algorithm and block diagram of the machine are explained.

Keywords: drilling machine, operating parameters, mechatronics, algorithm of management.

Буропогрузочные технологии проведения горных выработок по-прежнему остаются трудоемкими и менее эффективными в сравнении с комбайновыми. Однако они не заменимы при проведении горных выработок по крепким породам, что характерно для шахт Восточного Донбасса. Бурение шпуров — наиболее длительный и трудоемкий процесс проходческого цикла, определяемый эффективностью бурильных машин. Для повышения эффективности предлагались адаптивные бурильные машины и машины с автоматическим регулированием режимных параметров [1, 2]. Сейчас во многих отраслях народного хозяйства уже достаточно широко распространены мехатронные машины, в которых объединены электромеханические компоненты с силовой электроникой, управляемые с помощью различных вычислительных устройств. К сожалению, в отечественном горном машиностроении до сих пор преобладает тенденция к созданию машин с очень скромными возможностями регулирования режимных параметров. Данная тенденция объясняется стремлением к более простым, и как следствие этого, более надежным машинам.

Однако далеко не всегда простая машина оказывается эффективной в тех многообразных условиях, которые складываются при проведении горных работ. Значительная часть энергии, направленной на разрушение горного массива, тратится впустую из-за несоответствия установленных режимов работы оптимальным.

Современная бурильная машина, являющаяся составной частью шахтной бурильной установки (УБШ), должна реагировать на изменяющиеся условия разрушаемого массива изменением режимных параметров, поддерживая тем самым работу машины в оптимальном режиме, т. е. в режиме с наибольшей производительностью и наименьшими затратами энергии, а также обеспечивающих минимальный удельный расход инструмента.

На сегодняшний день для шахтных бурильных установок выбор режимных параметров и их последующая корректировка осуществляются только на основании определенных рекомендаций и личного опыта оператора. Однако такое субъективное решение может оказаться не совсем корректным или даже неприемлемым. Принятие решения о способе бурения (вращательный или вращательно-ударный) и дальнейшем регулировании его режимных параметров должно быть возложено на микропроцессор, тем самым необходимо существенно уменьшить влияние человеческого фактора. Для этого бурильная машина должна быть мехатронной, а в качестве критерия оптимальности режимных параметров выступать техническая производительность (скорость бурения), поскольку этот вид производительности учитывает влияние частоты вращения инструмента и его износа на эффективность бурения [3]. Однако техническая скорость бурения напрямую не может быть измерена в процессе бурения, но может быть вычислена по определенному алгоритму

с использованием измеренной величины теоретической (мгновенной) скорости бурения.

Техническая скорость бурения определяется по следующей зависимости [4]

$$v_{б.тех} = \frac{A}{\frac{1}{v_{б.теор}} + B},$$

где $A = 60k_{\Gamma}k_{ON}$, $B = \frac{1}{v_{OX}} + \frac{T_3}{L_{СТ}} + \frac{T_H + T_{ЗБ}}{L}$;

$v_{б.теор}$ — теоретическая скорость бурения; k_{Γ} — коэффициент готовности; k_{ON} — коэффициент одновременности работы бурильных машин; N — число бурильных машин на установке; v_{OX} — скорость обратного хода; T_3 — время замены резца; $L_{СТ}$ — стойкость резца; T_H — время наведения бурильной машины с одного шпура на другой; $T_{ЗБ}$ — время забуривания шпура; L — глубина шпура.

В рассматриваемой задаче переменной величиной является теоретическая скорость бурения, т. е. максимально возможная скорость бурения данной бурильной машины в конкретных горно-геологических условиях при непрерывной работе за относительно короткий промежуток времени. Теоретическая скорость бурения определяется

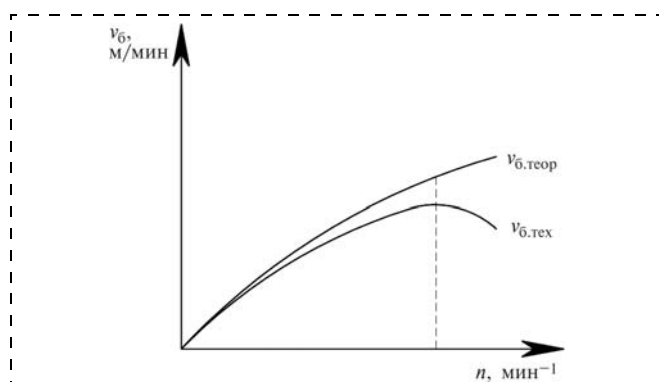


Рис. 1. Зависимости теоретической $v_{б.теор}$ и технической $v_{б.тех}$ скоростей бурения от частоты вращения штанги n

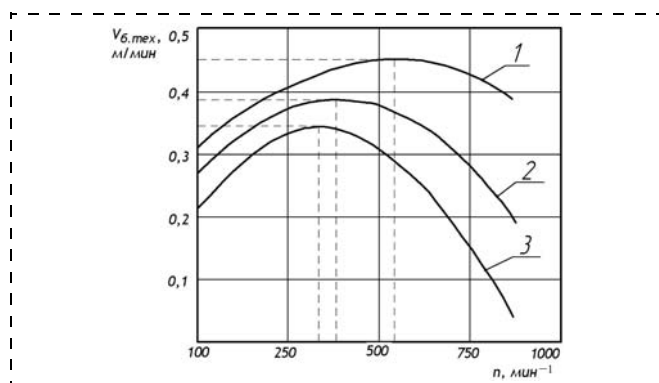


Рис. 2. Зависимость технической скорости $v_{б.тех}$ от частоты вращения инструмента n при разных значениях времени T_3 :
1 — $T_3 = 1$ мин; 2 — $T_3 = 2$ мин; 3 — $T_3 = 3$ мин

как отношение перемещения резца на i -м участке бурения к времени, затраченному на это перемещение. Именно эта величина может быть измерена и использована для определения технической производительности бортовым компьютером. Поскольку величина теоретической скорости бурения зависит от частоты вращения штанги [4, 5] (рис. 1), то это влияние еще в большей мере сказывается на величине технической производительности (нижняя кривая). Результаты вычислений технической скорости бурения представлены на рис. 2, где явно выражены экстремумы функции.

Поддержание частоты вращения на оптимальном уровне может быть достигнуто комбинацией измерений и вычислений в процессе бурения по приведенному на рис. 3 алгоритму. Здесь рассмотрен вариант регулирования при вращательном способе бурения.

На начальный период времени бурения t ($t = 0$) шпура длиной L ($L = 0$) устанавливается минимальное значение частоты вращения $n_{\min}$, измеряется теоретическая скорость бурения $v_{б.теор}$ и с использованием исходных данных, формирующих константы A и B , вычисляется значение технической скорости бурения $v_{б.тех}$. Если это значение не превысило максимальной величины, задается приращение частоты вращения Δn и вновь выпол-

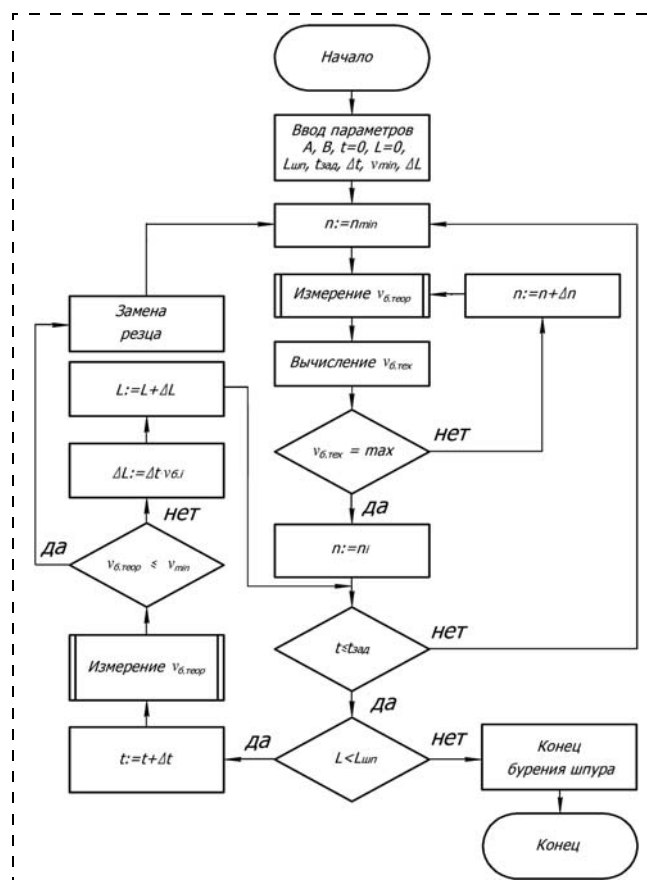


Рис. 3. Структурная схема алгоритма управления мехатронной бурильной машиной в режиме вращательного бурения

няется измерение теоретической и вычисление технической скорости бурения пока не будет определено максимальное значение $v_{б.тех}$ и соответствующее ей значение частоты вращения n . Данная частота поддерживается до конца заданного отрезка времени $t_{зад}$ или длины шпура $L_{шп}$, а также достижения предельного затупления резца, признаком чего является равенство скорости бурения $v_{б.теор}$ минимальной заданной величине v_{min} .

При вращательно-ударном способе бурения помимо подбора частоты вращения необходимо подбирать соответствующую ей частоту ударов и решать задачу целесообразности применения в конкретных условиях вращательного или вращательно-ударного способа бурения. Алгоритм управления при этом несколько сложнее представленного, но его практическая реализация также осуществима [6].

Сущность алгоритма управления режимными параметрами мехатронных бурильных машин вращательно-ударного действия заключается в периодической настройке вначале частоты вращения резца на величину, обеспечивающую максимум скорости бурения, а затем в определении рациональности применения импульсных ударных механизмов позволяющей управлять равнодействующей силовых воздействий режущих кромок инструмента на разрушаемый породный массив. Если бурение с применением ударных механизмов даст больший эффект по сравнению с вращательным бурением, то проводятся операции, определяющие оптимальные соотношения между частотой пульсаций нагрузки в осевом направлении.

Мехатронная бурильная машина, реализующая алгоритмы управления вращательного и вращательно-ударного способа бурения может быть выполнена по схеме, представленной на рис. 4, и должна иметь регулируемые привод вращения и механизм ударов.

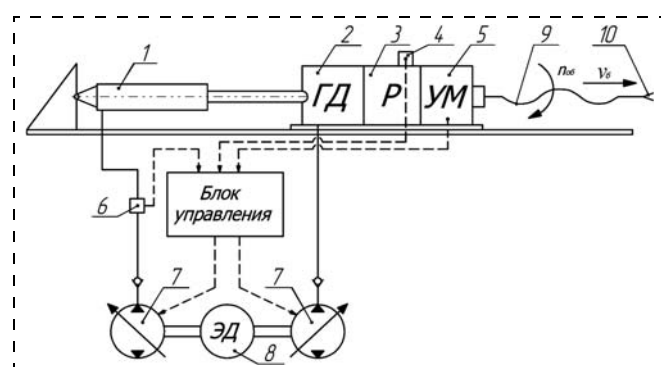


Рис. 4. Структурно-кинематическая схема мехатронной бурильной машины: 1 — гидроцилиндр; 2 — гидравлический двигатель; 3 — редуктор; 4 — датчик частоты вращения; 5 — ударный механизм; 6 — датчик скорости подачи; 7 — регулируемый насос; 8 — электродвигатель; 9 — буровая штанга; 10 — буровой инструмент (резец)

Предлагаемая схема основана на применении регулируемого объемного гидропривода. Сигналы с датчиков частоты вращения и скорости подачи обрабатываются микропроцессором по специально разработанной программе и воздействуют на сервоприводы, регулирующие производительность соответствующих насосов. Если блоком управления в процессе бурения будет определено, что в данном случае вращательно-ударное бурение является предпочтительнее вращательного, то подается сигнал на включение в работу ударного механизма. По специальному алгоритму для текущей ситуации подбираются оптимальная частота вращения штанги и оптимальное число ударов, обеспечивающих максимум технической скорости бурения. В качестве приводного двигателя для насосов используется нерегулируемый электродвигатель.

Предлагаемая структура мехатронной бурильной машины и алгоритм управления режимами бурения обеспечивают реализацию различных способов бурения и выбора рациональных режимных параметров. Производительность бурильной машины мехатронного класса по результатам математического моделирования более чем на 30 % выше, чем у обычной машины. Интенсивность износа резцов при этом снижается. В случае отказа системы управления предусматривается ее блокировка и управление нагрузкой осуществляется в обычном режиме.

В дальнейшем предполагаются создание программного обеспечения управления режимными параметрами бурения и техническая реализация мехатронной бурильной машины.

Список литературы

1. Водяник Г. М., Рылёв Э. В. Новые бурильные машины вращательного действия. Киев: Техника, 1979. 126 с.
2. Загороднюк В. Т., Яцкевич В. А. Классификация бурильных машин вращательного действия по способу автоматизации и пути их совершенствования / Тр. НПИ. 1971. Т. 236.
3. Крапивин М. Г., Раков И. Я., Сысоев Н. И. Горные инструменты. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Недра, 1990. 256 с.
4. Сысоев Н. И., Мирный С. Г. Основы теории функционирования бурильных машин вращательного действия: учеб. пособие // Юж.-Рос. гос. тех. ун-т (НПИ). Новочеркасск: ЮРГТУ, 2006. 104 с.
5. Мирный С. Г. Обоснование и выбор рациональной частоты вращения штанги машин для сверления шпуров в породах повышенной крепости и абразивности: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.06. Новочеркасск, 2005. 142 с.
6. Сысоев Н. И., Мирный С. Г., Гринько Д. А. Обоснование структуры и рациональных режимных параметров мехатронной бурильной машины // Горное оборудование и электромеханика. 2011. № 9. С. 24—28.

УДК 622.619

Г. Ш. Хазанович, д-р техн. наук, проф., В. Г. Черных, канд. техн. наук, доц.,
Э. Ю. Воронова, канд. техн. наук, доц., А. В. Отроков, канд. техн. наук, доц.,
ШИ(ф) ЮРГТУ (НПИ), г. Шахты

E-mail: hazanovich@rambler.ru

О некоторых направлениях разработки эффективного горно-проходческого оборудования

Выполнен анализ состояния горно-проходческих работ на шахтах России, обоснована программа создания высокоэффективного оборудования нового технического уровня на базе исследований, проведенных в ЮРГТУ (НПИ). Предложены актуальные направления разработки нового оборудования: агрегатированные системы на базе взрывонавалочных технологий и клиновых тягово-транспортующих органов; усовершенствованные погрузочные модули непрерывного действия; автоматизация подачи проходческих машин на базе принципов дискретного управления.

Ключевые слова: проведение горных выработок, горно-проходческое оборудование, агрегатированные проходческие системы, структурный и параметрический синтез, взрывонавалочная технология, клиновой тягово-транспортующий орган, погрузочные модули непрерывного действия, стратегии технической эксплуатации, информационные технологии, устройства автоматической подачи проходческих машин.

G. Sh. Khazanovich, V. G. Chernyh, E. Yu. Voronova, A. V. Otrakov

About Some Directions of Working out Effective Coal Mining Heading Equipment

Analysis of the state of mining heading works at the mines of Russia is fulfilled, the programmed of creating highly effective equipment of the new base of investigation carried out in the Southern Russian State Technical University (NPI) is substantiated. Actual directions of working out new equipment are offered: the unitized systems on the base blasting; bulk technologies and wedge haulage-transporting organs; improved loading modulus of continuous action, automation of feed of heading machines on the base of principles of discrete control.

Keywords: driving coal mining underground workings, mining driving equipment, unitized driving systems, structural and parametrical synthesis, blasting bulk technology, wedge haulage-transporting organ, loading modulus of continuous action, strategies of technological exploitation, informational technologies devices of automatic feed of heading machine.

Актуальность проблемы

"Энергетическая стратегия России на период до 2030 года" [1], утвержденная Правительством РФ 13 ноября 2009 г., одним из приоритетных направлений научно-технического прогресса в угольной промышленности определяет коренное техническое перевооружение угледобывающего производства, включая проходческое оборудование нового технического уровня.

Другим важным документом, прогнозирующим развитие горно-добывающей отрасли, является "Концепция развития очистного, проходческого, конвейерного и бурового оборудования на период до 2020 года", разработанная ННЦ-ГП ИГД

им. А. А. Скочинского [2], в которой отмечается, что в системе горных работ шахт наименьшей эффективностью характеризуются горно-подготовительные работы. Отечественная проходческая техника в значительной степени морально устарела, причем основная причина, по признанию специалистов, заключается в отсутствии новых крупных технологических и технических решений, сопоставимых по своей эффективности с комплексной механизацией очистных работ.

Современные очистные комплексы обеспечивают нагрузку на лаву до 2...8 млн т/год. В этих условиях для своевременного воспроизводства фронта очистных работ необходимы темпы проведения подготовительных выработок до 300...1000 м/мес.

Однако реальные средние темпы проведения выработок на существующем горно-проходческом оборудовании (ГПО) составляют при буровзрывном способе, как правило, 70...100 м/мес, при применении проходческих комбайнов — 200...220 м/мес. Важно отметить, что при этом производительность труда проходчиков остается крайне низкой, особенно при проведении выработок буровзрывным способом, достигая лишь в отдельных случаях 1,0...1,2 м³ на человеко-смену. В общей себестоимости товарной продукции горных предприятий доля затрат, приходящихся на горно-проходческие работы, достигает по различным оценкам 25...30 %.

Анализ причин сложившегося положения приводит к следующим выводам:

при создании горно-проходческой техники не используются принципы системного подхода, в соответствии с которыми должна быть сформулирована и конкретизирована проблема, определены цели и критерии, разработаны и реализованы альтернативные варианты решения;

в отрасли ведутся разрозненные работы по улучшению качества и эффективности проходческих машин; однако даже значительное улучшение показателей отдельных машин, входящих в состав проходческого комплекса, не может существенно повысить результативность всей системы;

не реализуются основные принципы повышения производительности проходческих систем — совмещение операций во времени, функций операторов и орудий труда, которые являются общепринятыми в настоящее время в мировом горном машиностроении;

при проектировании комбинированных машин, в которых реализуются рабочие процессы с разрушенным материалом, недостаточное внимание уделяется стохастическим процессам погрузки материала, не учитывается на необходимом научном и информационном уровне динамика многомассовых систем переменной массы;

по-прежнему отечественные машины имеют в основном ручное управление; современные системы автоматического управления и регулирования, а также диагностики не встраиваются в проходческие машины, несмотря на большие технические возможности улучшения качества машин с использованием микропроцессорной техники.

Таким образом, создание на системной основе высокоэффективного горно-проходческого оборудования для проведения вскрывающих и подготавливающих выработок, в котором используются принципы совмещения операций, обеспечивает существенно более высокую производительность

как системы в целом, так и производительность труда работающих при максимальном уровне автоматизации рабочих процессов.

Приоритетные направления повышения эффективности ГПО

Перечисленные причины послужили основанием для выполнения комплексной научно-исследовательской работы по обобщению опыта ЮРГТУ (НПИ) в области создания научных основ разработки высокоэффективного горно-проходческого оборудования. В связи с масштабностью проблемы отобраны такие тематические направления исследований, по которым накоплен существенный научный задел.

1. Комплексные исследования и разработки по созданию впервые в мировой практике погрузочных и транспортирующих органов горных машин на основе *клиновых тягово-транспортирующих элементов*, защищенных многими авторскими свидетельствами и патентами. Результаты этих исследований обобщены в ряде монографий [3, 4]. Отличительными особенностями клиновых тягово-транспортирующих органов (ТТО) является простота конструкции, возможность погрузки тяжелых, крупнокусковых горных пород. При этом широкое использование объемного гидропривода обеспечивает безредукторное их исполнение, что существенно повышает надежность оборудования. Создана теория погрузки и транспортирования, изготовлены и испытаны в производственных условиях погрузочные органы различных проходческих машин.

Особое преимущество клиновых ТТО заключается в возможности эффективно работать при большой высоте слоя разрыхленной породы. Эта способность клиновых ТТО стала основой для разработки принципиальной схемы, так называемого взрывонавалочного конвейера и реализации на его основе проходческого взрывонавалочного агрегатированного комплекса (ПКВН).

Это направление стало одним из актуальных подходов к решению проблемы создания высокоэффективного горно-проходческого оборудования нового технического уровня.

2. Формирование научной базы и программного обеспечения проектирования *погрузочных модулей непрерывного действия* для проходческих машин различного назначения. Предусматриваются теоретические и экспериментальные исследования производительности и нагрузок погрузочных модулей проходческих машин, состоящих из погрузочного органа, штабеля горной массы и устрой-

ства управления. В такой постановке процессы формирования основных выходных показателей погрузочной части проходческих машин ранее не рассматривались, что приводило к ошибочным оценкам производительности и нагрузок в трансмиссии. Существенно влияющим фактором при моделировании работы погрузочных модулей непрерывного действия является случайный характер внешних нагрузок. Он обусловлен, прежде всего, стохастическим характером формирования размеров и формы кусков горной массы в штабеле в результате буровзрывных работ или процессов разрушения забоя рабочим органом проходческого комбайна. Кроме того, на динамические процессы при исследованиях системы "погрузочный орган—штабель—устройство управления" оказывает влияние переменность объема горной массы, сдвигаемой рабочим органом на различных этапах процесса захвата порции материала.

Обобщение результатов теоретических и экспериментальных исследований, имитационного моделирования системы, состоящей из взаимодействующих в динамике погрузочного органа, активной части штабеля и привода с системой управления, позволит разработать общие подходы к выбору оптимальных параметров системы, включая геометрические, кинематические, силовые и энергетические характеристики. Предусматривается анализ машин с погрузочными органами различных кинематических типов применительно к агрегатированным проходческим системам (АПС), проходческим комбайнам и погрузочным машинам, а также разработка конструкции и выбор параметров погрузочного органа современного проходческого комбайна.

3. *Автоматизация подачи* на штабель проходческих машин с погрузочными органами непрерывного действия. В течение многих лет это направление относится к числу актуальных проблем совершенствования проходческой техники. Ручное управление процессом подачи, основанное на интуиции оператора, характеризуется следующими недостатками:

в ручном управлении, как правило, участвуют как минимум два проходчика: машинист, управляющий процессом подачи в зависимости от состояния штабеля и положения корпуса машины относительно забоя, помощник машиниста, контролирующий положение разгрузочного конвейера относительно призабойного транспорта — вагонетки, самоходного вагона, магистрального конвейера и т. п.;

увеличение нагрузок в приводе погрузочного органа свыше нормативных вследствие естественного желания оператора реализовать максимальную производительность в течение короткого отрезка времени;

снижение надежности и ресурса системы, повышение затрат на техническое обслуживание и ремонт.

В научных школах многих ведущих ученых — специалистов в области горной электромеханики — профессоров Б. А. Верклова, Г. М. Водяника, В. Т. Загороднюка, А. Н. Дровникова и их учеников предпринимались неоднократные попытки решения указанной проблемы. В 60—80-х гг. прошлого столетия были созданы образцы проходческой техники, осуществляющей автоматическую подачу машины на штабель по уровню нагрузки в приводе погрузочного органа. Однако эти технические решения не вышли из стадии экспериментальных образцов по ряду причин. Прежде всего, предлагаемые варианты требовали коренного изменения конструкции привода машины: переход на привод погрузочного органа от двигателей постоянного тока; использование двухдифференциального гидромеханического привода. Во всех предлагаемых технических решениях предусматривалось непрерывное регулирование скоростей подачи машины и вращения ведущего элемента погрузочного органа.

Переход на дискретное автоматическое управление подачей позволяет получить те же результаты без коренной модернизации машины. В настоящем исследовании планируются разработка теоретических основ и отработка на практике принципов конструирования устройств автоматической подачи проходческих машин (на примере погрузочных машин непрерывного действия).

Рассмотрим более детально каждое из предложенных направлений.

Агрегатированные проходческие системы

Современные очистные механизированные комплексы для добычи угля подземным способом, созданные методом агрегатирования, путем кинематического и конструктивного объединения технологического оборудования в очистном забое обеспечили прорыв в технико-экономических показателях добычных работ.

Использование принципов агрегирования технологических машин в подготовительном забое может решить проблему повышения скорости и эффективности проходческих работ, однако при этом возникает ряд существенно новых проблем.

Во-первых, в подготовительных работах наряду с механическим (комбайновым) применяется буровзрывной способ разрушения горных пород, при использовании которого технологический перерыв для выполнения работ по заряджанию, взрыванию и проветриванию неизбежен. Во-вторых, при проведении подготовительных выработок требуется механизировать большее число операций, чем в угольных очистных работах. В-третьих, проходческие операции, требующие применения различных средств механизации, выполняются в условиях ограниченного рабочего пространства, а при буровзрывном способе проходки требуется еще и отвод-подвод оборудования при взрывных работах со значительными потерями времени.

В результате изучения многочисленных источников [5—7], в которых поднимается и обсуждается этот комплекс вопросов, сделан вывод, что среди технических средств, разработанных в опытных или экспериментальных вариантах к настоящему времени, только агрегатированное проходческое оборудование позволит решить проблему совмещения операций во времени, исключить некоторые из них и создать, таким образом, практически поточную технологию проведения выработок с высокими техническими и экономическими показателями.

При этом могут быть использованы новые перспективные разработки последних лет, проведенные в научной школе ЮРГТУ (НПИ):

- агрегатирование оборудования на базе клинового тягово-транспортного органа, совмещающего в себе также возможности погрузки и перемещения горной массы под завалом;

- использование взрывонавалочных технологий, обеспечивающих минимизацию трудоемкости работ по погрузке и призабойному транспорту;

- использование принципов совмещенной самопередвижки оборудования по аналогии с очистными комплексами;

- включение в состав агрегатированных систем подсистем разрушения забоя и механизированного поддержания кровли.

Получение такого научно-технического результата требует решения ряда новых концептуальных и прикладных задач:

- научное обоснование принципов и практических методов структурного синтеза агрегатированных проходческих систем на базе разработанных структурно-функциональной классификации АПС и ориентированных гиперграфов;

- разработка методики выбора рациональных параметров агрегатированного проходческого оборудо-

вания на основе закономерностей формирования производительности, силовых и энергетических характеристик исполнительных органов, конструктивно и кинематически сопряженных подсистем АПС;

- разработка основ теории и практических приемов конструирования агрегатированных проходческих комплексов на основе взрывонавалочных технологий с использованием методов имитационного и физического моделирования рабочих процессов;

- разработка и обоснование принципов управления кровлей при проведении выработок с помощью агрегатированных проходческих систем;

- исследование напряженно-деформированного состояния металлоконструкций агрегатированных проходческих систем с использованием метода конечных элементов;

- обоснование рациональных параметров и режимов работы исполнительных органов агрегатированных проходческих систем, прежде всего погрузочно-транспортной подсистемы, созданной с использованием клинового ТТО;

- обоснование рациональной стратегии технической эксплуатации агрегатированных проходческих систем на основе современных информационных технологий;

- разработка проекта действующей модели агрегатированного проходческого комплекса, позволяющей физическую имитацию в реальном масштабе времени и с соблюдением основных критериев моделирования рабочих процессов безлюдной технологии формирования штабеля в условиях взрывонавалки, погрузки и транспортирования горной массы.

Перечисленные вопросы относятся к числу малоизученных и не имеют практического опыта реализации. Предлагаемая программа исследований и разработок позволит системно и последовательно оценить возможности создания АПС на основе взрывонавалочных технологий, получить варианты конструктивных технических решений, проверить их эффективность на установке в условиях, близких к производственным.

Погрузочные модули непрерывного действия

Важнейшей частью данного этапа работы является разработка общей методики исследований всего комплекса вопросов. В состав этой части работы включены для каждого типа рабочего органа определение основных зависимостей рабочих процессов и влияющих факторов, отбор закономер-

стей для первоочередного исследования и разработка на этой основе экспериментальной модельной установки. Создание физической модели погрузочных органов и устройств, имитирующих основные рабочие процессы, позволит осуществить проверку рабочих гипотез для построения теории взаимодействия в системе "погрузочный орган—штабель—устройство управления".

Планируется организация имитационного компьютерного моделирования с разработкой необходимого программного обеспечения.

Таким образом, выполняются два основных раздела исследований:

теоретические и экспериментальные исследования производительности и нагрузок проходческих погрузочных модулей непрерывного действия с использованием имитационного компьютерного моделирования и изучения рабочих процессов на физической модели;

разработка конструкции и выбор параметров погрузочного органа современного проходческого комбайна на основе исследований рабочих процессов взаимодействия с разрушенной горной массой погрузочного органа с нагребными звездами.

Автоматизация подачи на штабель погрузочных машин с нагребными лапами

Программой настоящего проекта предусмотрены разработка теоретических основ и отработка на практике принципов конструирования устройств автоматической подачи проходческих машин (на примере погрузочных машин непрерывного действия). Заявленная задача решается в четыре основных этапа:

1) обобщается теория дискретной автоматической подачи погрузочной машины на штабель с обоснованием необходимости автоматического регулирования уровней задатчиков в зависимости от совокупной информации о состоянии погрузочной машины (производительность, нагрузки на рабочем органе, частота включений, напряжение питания и др.);

2) проектируется и изготавливается модель погрузочной машины непрерывного действия с парными нагребными лапами совместно с моделью штабеля горной массы, в которой действующими являются механизмы нагребания лапами, подачи на штабель и устройство управления этими механизмами;

3) разрабатываются структурная и функциональная схемы управления системы "погрузочный орган—механизм подачи—система управления", включающей систему датчиков для контроля состояния машины;

4) разрабатываются алгоритм и компьютерная программа управления системой автоматической подачи модели погрузочной машины.

Предусматриваются компьютерное моделирование рабочих процессов и отработка параметров датчиков, преобразователей и исполнительных механизмов, оценка соответствия теоретических положений дискретного управления с результатами моделирования.

В заключительной части исследований выполняется проверка функционирования системы на модельной экспериментальной установке.

Список литературы

1. **Энергетическая** стратегия России на период до 2030 года. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 13 ноября 2009 г.
2. **Линник Ю. Н.** и др. Концепция развития очистного, проходческого, конвейерного и бурового оборудования на период до 2020 г. // Горное оборудование и электромеханика. 2006. № 2. С. 2—12. № 3. С. 2—6.
3. **Проходческие** погрузочно-транспортные модули и подсистемы угольных шахт на основе клиновых гидрофицированных исполнительных органов / под ред. проф. Г. Ш. Хазановича. Шахтинский ин-т ЮРГТУ. Новочеркасск: ЮРГТУ, 2001. 252 с.
4. **Каргин Р. В., Хазанович Г. Ш., Носенко А. С.** Перегрузатели для крепких сыпучих материалов. Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2005. 141 с.
5. **Хазанович Г. Ш., Калинин Э. В., Кузнецов А. И.** Повышение эффективности горно-проходческих работ на шахтах Российского Донбасса // Уголь. 1996. № 12. С. 20—24.
6. **Хазанович Г. Ш., Воронова Э. Ю.** Повышение эффективности проведения подготовительных выработок буровзрывным способом // Перспективные технологии добычи и использования углей Донбасса. Материалы Междунар. науч.-практ. семинара, г. Новочеркасск, 1—2 окт. 2009 г. / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2009. С. 78—82.
7. **Хазанович Г. Ш.** Об актуальных направлениях исследований и повышения эффективности горно-проходческого оборудования // Перспективы развития Восточного Донбасса. Ч. I: Сб. науч. тр. по материалам 60-й науч.-практ. конф. "Перспективы развития Восточного Донбасса" / Шахтинский ин-т (филиал) ЮРГТУ (НПИ). Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2011. С. 39—45.

Физические закономерности процесса погрузки горной массы погрузочными органами с нагребными звездами

Сформулированы задачи исследования погрузочных органов проходческих комбайнов с нагребными элементами в виде звезд. Разработана методика экспериментальных исследований и создана модельная установка. Установлены основные зависимости, характеризующие формирование производительности погрузочного органа с нагребными звездами.

Ключевые слова: проходческий комбайн, погрузочный орган с нагребными звездами, физическая модель, экспериментальные исследования, физическая картина формирования грузопотока, основные зависимости.

G. Sh. Khazanovich, N. B. Afonina, A. V. Otrokov

Physical Regularities of the Process of Loading Mining Mass with Loading Organs with Raking Sprockets

The tasks of investigating loading organs of driving combines with raking elements in the form of sprockets are formulated. The methods of experimental investigations is worked out, and the model installation is created. The main dependences characterizing the forming of capacity of the loading organ with raking sprockets are determined.

Keywords: driving combine, loading organ with raking sprockets, physical model, experimental investigation, physical picture of forming freight traffic volume, main depended.

Введение

В мировом и отечественном комбайностроении в последнее время широкое распространение находят погрузочные органы, выполненные в виде двух вращающихся звезд. Анализ технических характеристик таких проходческих комбайнов показывает, что для аналогичных условий проведения горных выработок применяются комбайны с различными конструктивными параметрами погрузочных органов с нагребными звездами (ПОНЗ). Это касается в первую очередь конфигурации звезд (соотношение диаметра к ширине питателя, количество лучей звезд, их форма и высота) и компоновки погрузочного органа (расстояние от центра звезд до кромки питателя, синхронизация звезд, вылет стрелы разрушающего органа от кромки питателя, частота вращения звезд). Исходя из этого, сделан вывод о том, что рабочие процессы ПОНЗ недостаточно изучены, идет поиск рациональных технических решений.

Для разработки инженерной методики определения параметров ПОНЗ необходимы как теоретические, так и экспериментальные исследования процессов формирования объемов захвата

материала, усилий в исполнительном органе и трансмиссиях погрузочных органов. В настоящей статье приводятся результаты экспериментальных исследований рабочих процессов формирования грузопотока ПОНЗ.

1. Методика экспериментальных исследований

При разработке методики экспериментальных исследований ПОНЗ проходческих комбайнов [1] учитывались основные особенности формирования объема единичного черпания, который определяет производительность погрузочного органа и комбайна в целом.

Предварительные исследования показали, что на формирование объема захвата влияют высота, форма, число одновременно участвующих в черпании лучей и траектория движения погрузочных элементов. На способность материала попасть в рабочую зону очередного погрузочного луча влияют как геометрические (длина, высота, форма, угол развала лучей, внешний и внутренний диаметры звезд) и кинематические (скорость вращения звезды) параметры погрузочного органа, так и характеристики горной массы (грануломет-

Пределы изменения влияющих факторов

Фактор	Обозначение	Единицы измерения	Исследуемые значения
Параметры штабеля горной массы			
Средняя крупность материала	$d_{\text{ср}}$	м	0,05; смесь 0,15...0,25 (модель: 0,014; смесь 0,04...0,07)
Высота штабеля	$H_{\text{шт}}$	м	1,0; 1,4; 1,57 (0,3; 0,4; 0,45)
Конструктивные параметры звездчатого погрузочного органа			
Частота вращения звезд	$n_{\text{зв}}$	мин ⁻¹	33; 45
Количество лучей на звездах	$n_{\text{л}}$	шт.	1 ; 2; 4; 6; 8
Конфигурация лучей звезд	FB	—	1 — прямые радиальные (ПР); 2 — прямые касательные (ПК); 3 — изогнутые (20°) радиальные (И(20)Р); 4 — изогнутые (45°) радиальные (И(45)Р).
Диаметр звезды	$d_{\text{зв}}$	м	1,37; 1,44; 1,65 (модель: 0,391; 0,413; 0,471)
Высота лучей звезд	$h_{\text{л}}$	м	0,07; 0,14 ; 0,21 (модель: 0,02; 0,04 ; 0,06)
Угол наклона питателя	$\alpha_{\text{пл}}$	°	18; 33

рический состав и форма кусков), определяющие "сыпучесть" материала.

Выбор исследуемых факторов выполнялся на основе изучения условий эксплуатации проходческих комбайнов. Влияющие факторы [1] разделены на внутренние (конструктивные, кинематические, силовые) и внешние (свойства штабеля, параметры разрушающего органа). Пределы изменения факторов, влияние которых изучалось на физической модели, приведены в таблице. Полу-жирным шрифтом выделены значения, принятые в качестве базовых.

Экспериментальные исследования процесса разделены на два этапа:

- 1) изучение физической картины;
- 2) установление количественных характеристик.

Программа экспериментов первого этапа исследований предусматривает проверку гипотезы формирования грузопотока ПОНЗ проходческих комбайнов и разработку математических моделей производительности и нагрузок, которые будут проверены и уточнены в ходе второго этапа экспериментальных исследований с применением измерительного комплекса.

2. Модельная экспериментальная установка

Экспериментальная установка (рис. 1) спроектирована на основе теории подобия и размерностей после изучения ряда конструкций проходческих комбайнов отечественного и зарубежного комбайностроения. Геометрический масштаб моделирования 1:3,5.

Техническая характеристика

Параметры погрузочных органов	Соответствуют таблице
Привод нагребающих звезд	Электрический мотор-редуктор
Напряжение питания установки, В	380
Привод подачи рабочего органа на штабель	Гидравлический

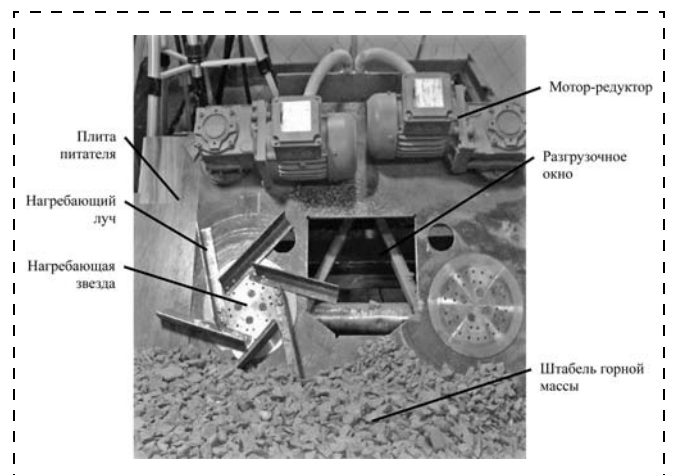


Рис. 1. Модель погрузочного органа

Экспериментальная установка оснащена устройствами для измерения массы погруженного материала, угла поворота нагребающей звезды, тока и напряжения питающей сети, напряжений, возникающих в луче нагребающей звезды, фото-, видео- и количественной фиксации профиля штабеля и его изменений в процессе погрузки.

Для фиксации профиля штабеля используется профилометр (рис. 2), представляющий собой раму с закрепленной на ней металлической сеткой с ячейками 50 × 50 мм и расположенной на известной высоте над столом со штабелем. Профиль штабеля фиксируется в нескольких точках с помощью лазерной рулетки. С погрешностью ±1 мм измеряется расстояние от профилометра до поверхности штабеля.

В результате экспериментов оцениваются зависимость производительности от факторов, характеризующих:

- 1) конструкцию погрузочных звезд: конфигурации; число лучей; диаметр; частота вращения погрузочных звезд; угол наклона питателя;

2) штабель горной массы: средний размер куска; угол откоса;

3) режим погрузки: глубина внедрения; номера черпания.

3. Результаты экспериментальных исследований

В результате обработки экспериментальных данных получены описываемые ниже зависимости, которые позволят уточнить характер взаимодействия нагребающих звезд с погружаемым материалом и разработать математические модели. Последние станут основой инженерной методики выбора рациональных ПОНЗ проходческих комбайнов.

Ниже на рисунках и в тексте используются следующие обозначения (дополнительно к введенным в таблице):

$\beta_{\text{л}}$ — угол развала лучей, °;

$N_{\text{зв}}$ — число звезд, шт.;

$N_{\text{об}}$ — число оборотов звезды (номер черпания);

M — масса погруженного материала за определенное число черпаний (оборотов звезды), кг;

M_{Σ} — накопленная масса погруженного материала (масса материала, замеряемая с начала опыта), кг;

Q — производительность погрузки, $\text{м}^3/\text{мин}$.

Далее на всех рисунках в таблицах параметров выделены изменяемые величины, использованные для построения зависимостей.

Перед проведением экспериментальных исследований исходя из опыта изучения рабочих процессов погрузочных органов с нагребающими лапами разных типов, а также производственных наблюдений за работой проходческих комбайнов с погрузочными звездами было выдвинуто предположение о зависимости производительности от угла развала лучей при прочих постоянных параметрах (рис. 3). В результате проведенных экспериментальных исследований предположение подтвердилось.

Согласно экспериментальным исследованиям, с увеличением числа лучей на звезде уменьшается время выгрузки объема активной зоны [2], что сказывается на характере зависимости погруженной массы материала от числа лучей в виде выпо-

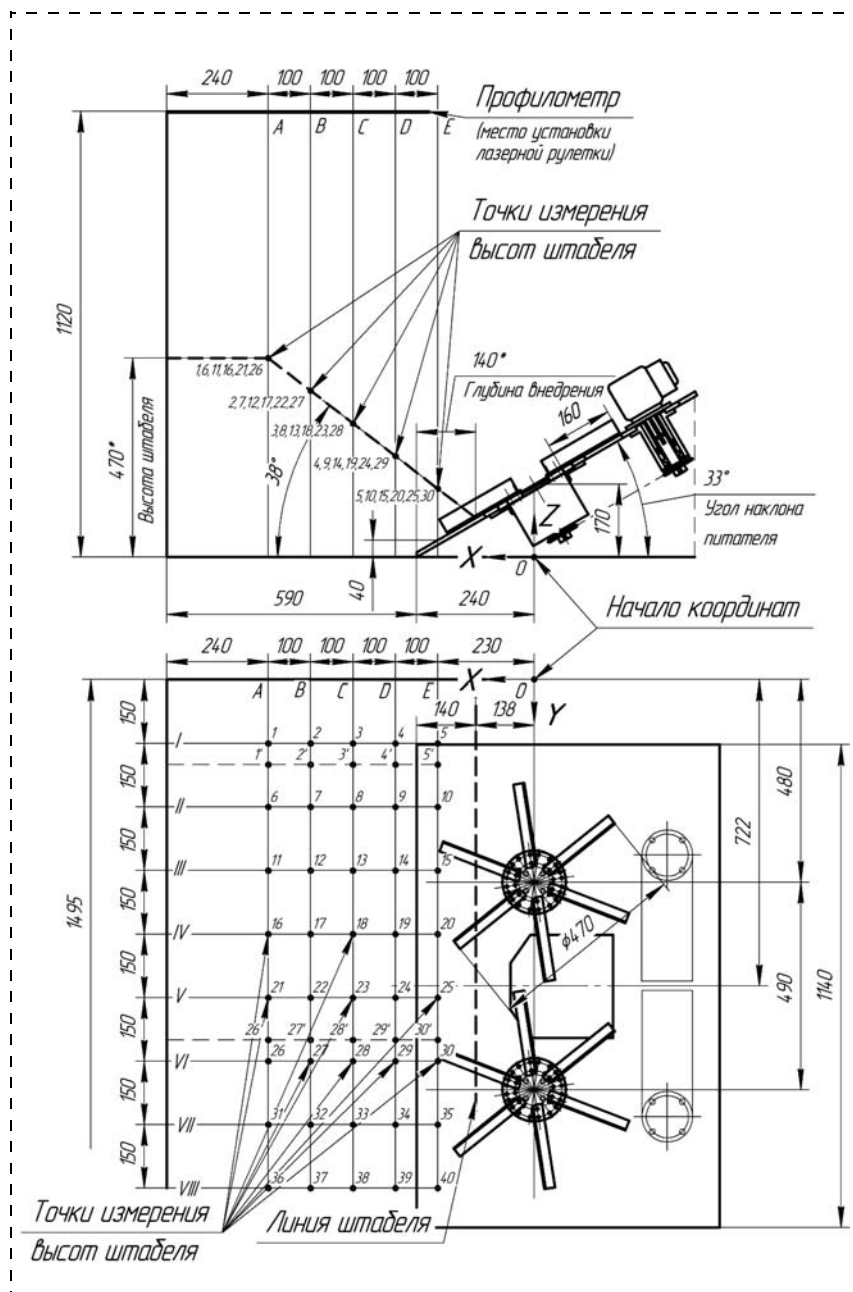


Рис. 2. Схема измерений профиля штабеля

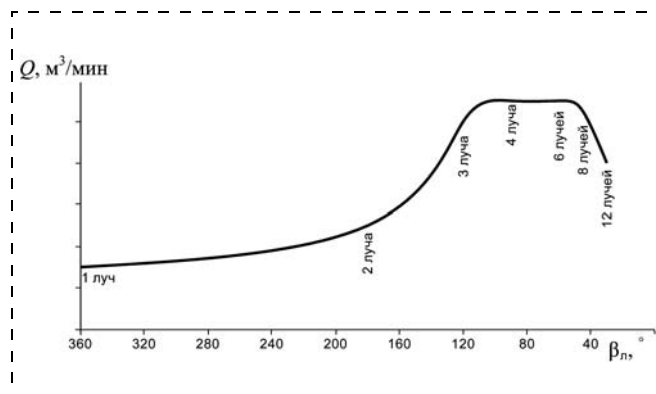


Рис. 3. Характер зависимости производительности от угла развала лучей

лаживания кривых при числе лучей более четырех (рис. 4).

Для определения границ активной зоны, как показано на рис. 5, необходимо от кромки луча в штабеле провести воображаемую поверхность осыпания материала, средний угол наклона которой для кускового материала по оси активной зоны больше, чем угол естественного откоса [2].

С увеличением числа лучей уменьшается погрузочная способность отдельного луча в звезде (количество материала, погружаемого одним лучом за один оборот). Это происходит вследствие уменьшения объема возможного захвата материала из-за уменьшения угла развала лучей.

Кроме того, снижение погрузочной способности нагребающего луча, начиная с четырех лучей на звезде, происходит из-за подвижности материала, который после воздействия на него впереди идущим лучом звезды не успевает "успокоиться" и перевести штабель в напряженно-деформированное состояние (рис. 6). На видеоряде (рис. 7) видно, что с увеличением числа лучей уменьшается

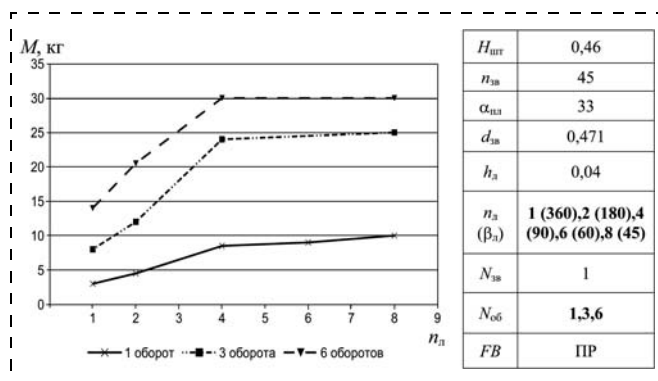


Рис. 4. Зависимость массы погруженного материала от числа лучей

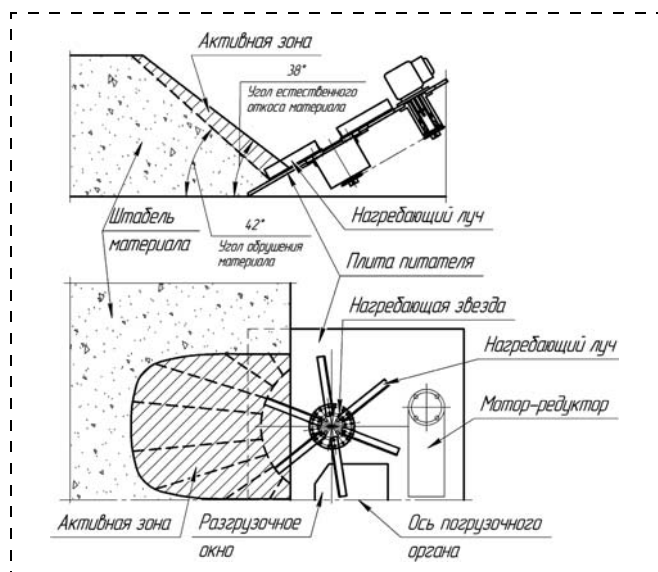


Рис. 5. К определению границ активной зоны

объем единичного захвата — материал не успевает опуститься в зону действия очередного луча звезды.

По аналогии с рабочими процессами у погружных органов с нагребающими лапами у нагребающих звезд также предполагалось так называемое "отодвигание" штабеля от нагребающей звезды вследствие уменьшения объема материала над нагребающими элементами погружного органа (рис. 8).

Однако в отличие от характера зависимости у нагребающих лап график нагребающих звезд характеризуется наличием горизонтальных участков (рис. 9), которые можно объяснить тем, что в течение нескольких черпаний одним лучом материала штабеля над лучом достаточно для обеспечения нескольких объемов захвата одного луча при данном активном объеме штабеля. И только после уменьшения этого объема происходит снижение объема захваченного груза в соответствии с уменьшением активного объема штабеля.

С увеличением высоты штабеля (рис. 10) характер зависимости количества погруженной горной массы от номера черпания сохраняется, количест-

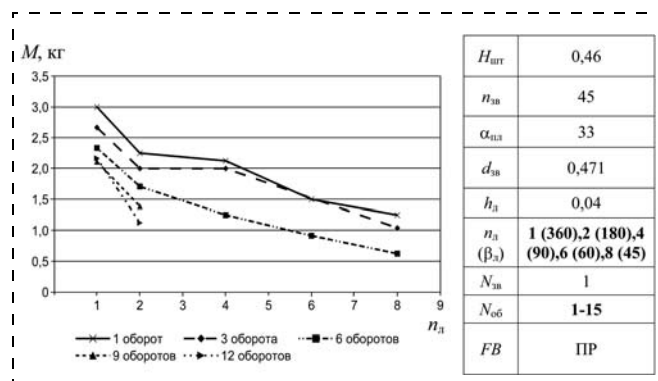


Рис. 6. Зависимость погрузочной способности луча звезды от числа лучей

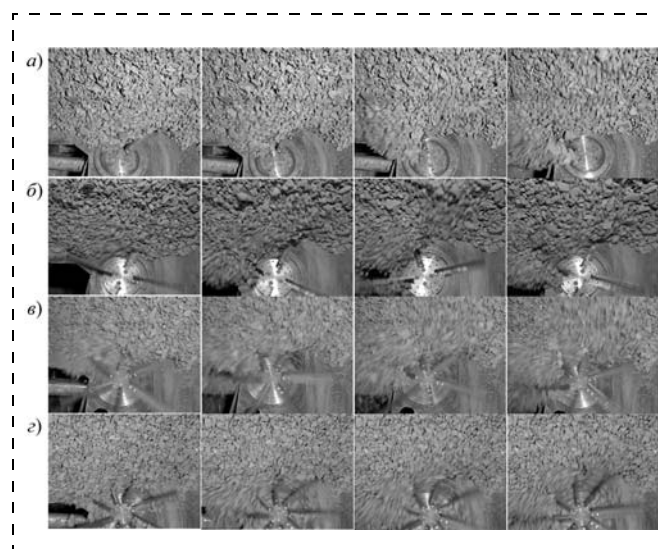


Рис. 7. Процесс формирования грузопотока звездами с числом лучей:
а — один; *б* — четыре; *в* — шесть; *г* — восемь

венно уменьшаясь пропорционально уменьшению высоты штабеля. С увеличением высоты штабеля увеличиваются активный объем и объем погружаемого материала за единичное черпание. Это можно объяснить тем, что с увеличением количества материала, расположенного над лучом, увеличивается сцепление частиц материала между собой и возрастает эквивалентная высота луча. То есть эквивалентная высота луча зависит от высоты материала над лучом.

При увеличении скорости вращения звезды объем захватываемого материала за оборот и производительность звезды уменьшаются (рис. 11).

Луч на высокой скорости перемещает слой материала по высоте, равной высоте луча (это видно на видеосъемке), а при уменьшении скорости движения луча в штабеле куски материала, находящиеся выше высоты луча, также вовлекаются в движение вместе с лучом и нижележащими кусками материала (связь между частицами сыпучей среды не успевает исчезнуть). Таким образом, можно говорить о том, что эквивалентная высота луча (нагребающего элемента) зависит от скорости движения последнего в штабеле материала.

С увеличением угла наклона питателя захватывающая способность лучей снижается (рис. 12). Это очевидно, так как при большом угле наклона

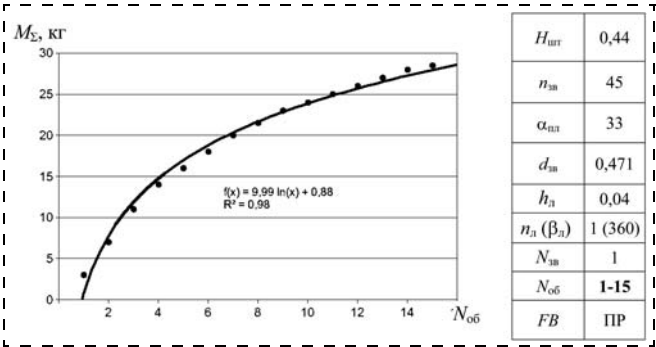


Рис. 8. Зависимость накопленной массы погруженного материала от номера черпания

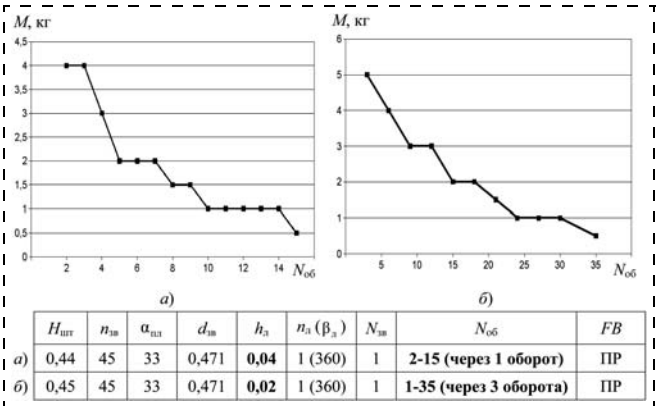


Рис. 9. Зависимость массы погруженного материала от номера черпания

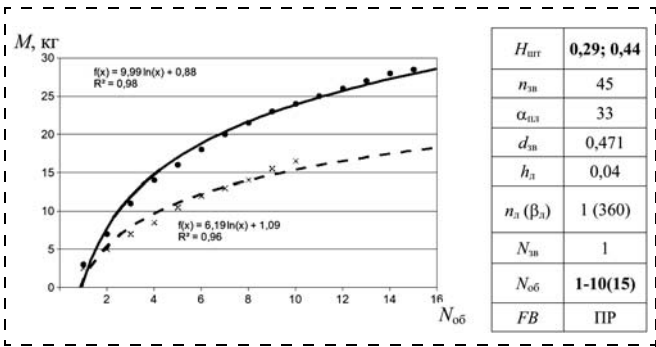


Рис. 10. Зависимость погруженной массы груза от номера черпания при разной высоте штабеля

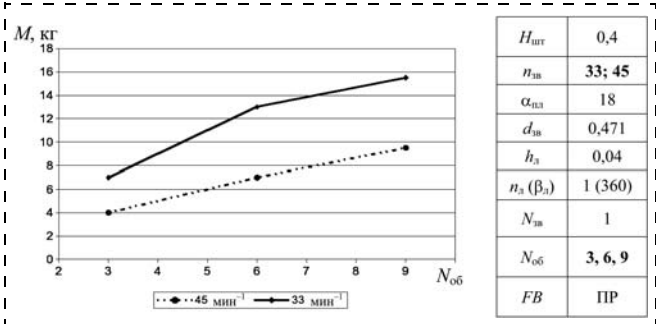


Рис. 11. Зависимость массы погруженного материала от номера черпания при различной скорости вращения звезды

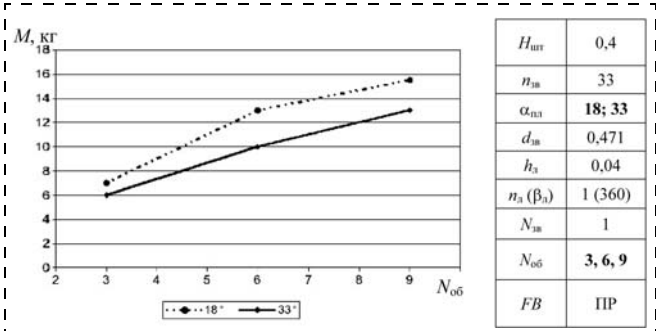


Рис. 12. Зависимость массы погруженного материала от номера черпания при различных углах наклона питателя

лучу труднее сформировать такой же объем захвата, как и при меньшем угле. Очевидно, что с увеличением угла наклона питателя увеличиваются затраты энергии на погрузку, так как луч сначала "уплотняет" материал, внедряясь в него сверху вниз, а затем поднимает захваченный объем груза вверх по плите к разгрузочному окну (приемному окну конвейера).

Как видно на рис. 13 и 14, существует прямая зависимость между накопленной массой груза и диаметром звезды, т. е. первоначальной глубиной внедрения. С увеличением длины луча в штабеле горной массы увеличиваются активный объем материала и объем единичного захвата.

Форма лучей оказывает незначительное влияние на формирование объема единичного захвата — на рис. 14 видно, что погрузочная способность на-

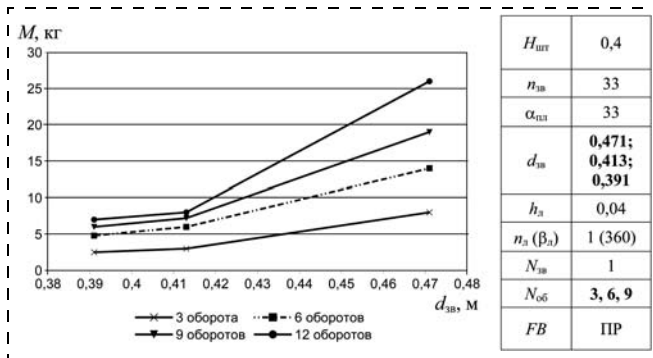


Рис. 13. Зависимость массы погруженного материала от диаметра звезды

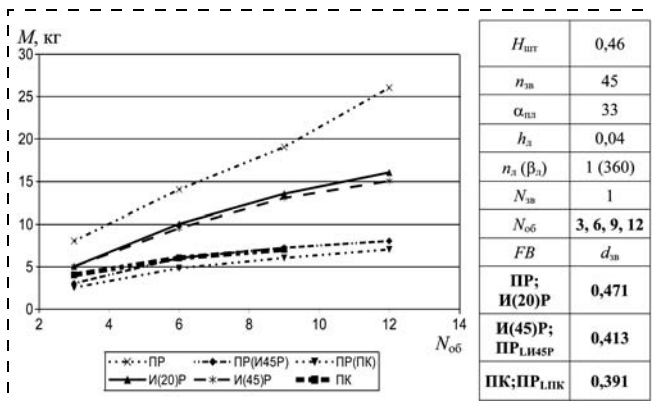


Рис. 14. Зависимость массы погруженного материала от номера черпания при различных диаметрах звезды и формах лучей

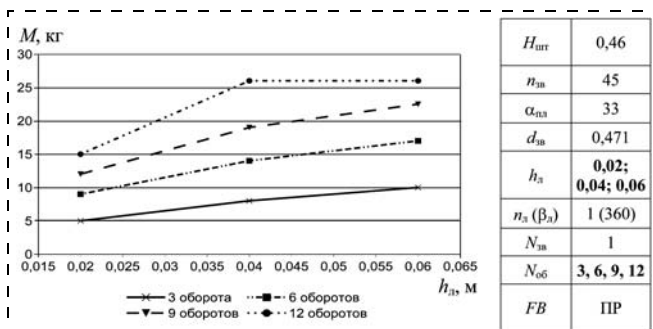


Рис. 15. Зависимость массы погруженного материала от высоты лучей

гребущих звезд с лучами различной формы различается именно по диаметрам звезд. То есть звезды с укороченными прямыми радиальными и изогнутыми радиальными лучами имеют равный диаметр и их графики погруженной массы практически совпадают (то же самое можно сказать и о других графиках).

Активный объем не зависит от высоты луча, а зависит только от глубины внедрения луча в штабель. По ширине штабеля звезда воздействует только на материал в пределах диаметра и от высоты лучей не зависит. Высота лучей влияет только на объем единичного захвата, т. е. на производительность (рис. 15).

При погрузке происходит "выпирание" части материала штабеля в зону действия другой звезды

(за пределы погрузочного окна). Объем выпирания формируется в первые 5...10 черпаний лучом (если звезда шестилучевая, то необходимы 1...1,5 оборота звезды). Время формирования объема выпирания не зависит от высоты лучей в отличие от объема выпирания. При работе двух звезд одновременно местоположение суммарного (от двух звезд) объема выпирания колеблется около осевой линии питателя, попадая в рабочие зоны то одной, то другой звезды. Причем, если звезды не синхронизированы между собой, то местоположение объема выпирания колеблется около осевой линии питателя неравномерно и объем выпирания изменяется (при синхронизации звезд со сдвигом по фазе объем постоянен, а местоположение меняется). В случае синхронизации звезд "луч в луч" (сдвиг по фазе равен нулю) лучи перемещают груз синхронно и порции материала, предназначенные для формирования объема выпирания, "встречаются" с материалом, транспортируемым другой звездой, и лучи соседних звезд выгружают на скребковый конвейер весь материал. Влияние "колебаний" зоны выпирания на производительность проявляется только после 5...8 первых черпаний. При работе двух звезд по оси приемной плиты в штабеле образуется треугольная призма материала, не включенная в процесс погрузки.

На рис. 16 и 17 показаны погруженные объемы материала рабочего органа с двумя нагребующи-

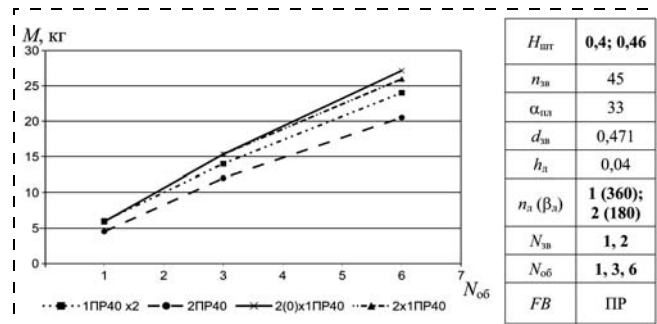


Рис. 16. Зависимость массы погруженного материала от номера черпания (погрузочный орган с двумя лучами)

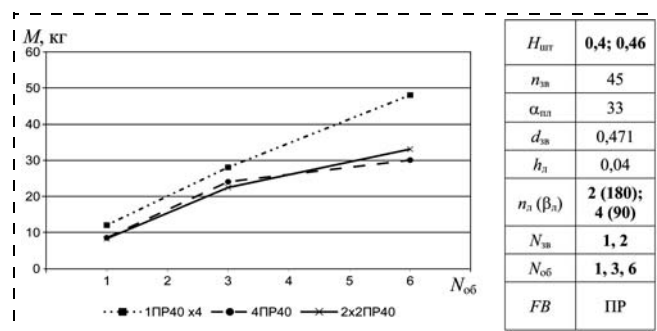


Рис. 17. Зависимость массы погруженного материала от номера черпания (погрузочный орган с четырьмя лучами)

ми звездами в сравнении с удвоенной массой погруженного материала одной нагребавшей звездой так, чтобы суммарное число лучей на погружном органе сохранялось.

При изучении процесса формирования грузопотока рабочим органом с двумя нагребавшими звездами необходимо отметить, что его производительность незначительно ниже удвоенной производительности одной звезды. Изучение этого вопроса требует дальнейших исследований.

Заключение

В результате предварительных исследований погружных органов с нагребавшими звездами на универсальной модельной установке удалось получить физическую картину процесса формирования грузопотока.

Установлено, что при большом (четыре и более) числе нагребавших лучей поведение штабеля резко отличается от аналогичного процесса при воздействии на него, например парных нагребавших лап. Увеличение числа исполнительных элементов поддерживает подвижность материала штабеля после первоначального воздействия на него. Грузопоток формируется не путем сложения отдельных единичных объемов захвата одного или двух лучей,

а становится непрерывным, "текущим" процессом. В сыпучей среде начинают проявляться свойства жидкостей, что влечет за собой, с одной стороны, уменьшение единичного объема захвата в связи с уменьшением эквивалентной высоты луча, а с другой — уменьшение нагрузок, возникающих в нагребавшем луче. Объяснение этому явлению заключается в том, что после первоначального воздействия на штабель материала впоследствии необходимо только поддерживать сформированный поток погружаемой массы (не приходится преодолевать силы трения для сдвига неподвижного материала).

Дальнейшие исследования будут сконцентрированы на уточнении характера формирования нагрузок в лучах нагребавших звезд и сравнении рабочих процессов нагребавших звезд и нагребавших лап как наиболее изученных.

Список литературы

1. Афонина Н. Б., Отроков А. В. К разработке методики исследования погружных органов проходческих комбайнов с нагребавшими звездами // Горное оборудование и электромеханика. 2013. № 2. С. 25—30.
2. Хазанович Г. Ш., Лоховинин С. Е. Экспериментальные исследования производительности погружного органа с нагребавшими лапами / Шахтный и карьерный транспорт. М.: Недра, 1984. Вып. 9. С. 159—164.

УДК 622.232.83, 622.619

В. Г. Хазанович, канд. техн. наук, проф., ШИ(ф) ЮРГТУ (НПИ), г. Шахты

E-mail: khazanovich.v@mail.ru

Развитие конструкций и классификация рабочих органов горно-проходческих машин с клиновыми погружными и транспортирующими элементами

Проведен анализ конструкций погружных органов шахтных погружных машин, проходческих комбайнов избирательного действия и клиновых проходческих перегружателей. Разработана классификация рабочих органов горно-проходческих машин с клиновыми элементами.

Ключевые слова: горно-проходческие машины, погружной орган, клиновой элемент, тягово-транспортирующий орган, классификация.

V. G. Khazanovich

Development of Designs Classification of Working Bodies of Mining Machines with Wedge Loading and Transporting Elements

The analysis of construction of loading bodies of standard loading machines. Tunneling machines with selective effect and wedge tunneling loader. The classification of working bodies of tunneling machines with wedge elements.

Keywords: mining machines, loading body, wedge element, towing-transporting body, classification.

Одним из перспективных направлений совершенствования конструкций горно-проходческих машин (ГПМ) является применение рабочих органов с клиновыми элементами [1]. В отличие от традиционных погрузочных органов — ковшей, гребков, дисков, которые при выполнении рабочих операций выполняют движение по некоторой замкнутой траектории в штабеле или плоскости, клин совершает возвратное перемещение. Ранее, несмотря на простоту конструкции, клиновой элемент не рассматривался как погрузочное устройство. В настоящее время при широком распространении гидравлического привода в горном машиностроении применение клина позволяет обойтись без редукторных групп и использовать для совершения перемещений минимальное количество силовых гидроцилиндров.

В настоящее время учеными Шахтинского института ЮРГТУ (НПИ) разработан ряд конструкций проходческих погрузочно-транспортных модулей, основным функциональным элементом которых является клин. Многообразие рабочих органов ГПМ с клиновыми элементами требует разработки обоснованных подходов к их дальнейшему совершенствованию, выбору параметров, определению производительности и других эксплуатационных показателей, что невозможно осуществить без выявления необходимого и достаточного числа классификационных признаков, определяющих их конструкцию и основные характеристики. Таким образом, цель разрабатываемой классификации состоит в упорядочивании множества существующих технических решений рабочих органов горно-проходческих машин с клиновыми элементами для установления связей между ними, их анализа и разработки новых технических решений.

Для повышения эффективности погрузки крепких крупнокусковых пород, в том числе реализации более экономичных режимов работы погрузочных органов, проведен комплекс исследований и разработок специалистами ЮРГТУ, ИГД им. А. А. Скочинского, ОАО "Копейский машиностроительный завод". Результатом явились предложения по совершенствованию погрузочных органов шахтных погрузочных машин и проходческих комбайнов избирательного действия [2—10], разработан ряд принципиально новых решений погрузочных органов с клиновыми лапами, совершающими возвратные движения: поступательное, вращательное и плоское, с верхним и нижним расположением привода, с силовыми и моментными гидроцилиндрами.

Впервые клиновой погрузочный орган — рамка с нагребавшим клиновым носком (рис. 1) — запатентован ЮРГТУ и ИГД им. А. А. Скочинского

в 1981 г. Исполнительный орган с нагребавшим носком представляет собой рамку с днищем, образующую емкость, передняя стенка которой снабжена клинообразным носком. Для облегчения маневровых работ при обслуживании фронта погрузки П-образная рамка оснащается дополнительно боковыми клиньями. Применение этой конструкции, выступившей прообразом погрузочных органов более высокого технического уровня, создает проблему передачи груза на последующее транспортное звено, так как рамка совершает перемещение только в плоскости почвы выработки.

Для решения этой задачи разработаны варианты применения клиньев на рабочих органах машин с наклонной плитой и нагребавшими лапами, совершающими возвратно-поступательное или возвратно-вращательное движение. В первом случае (рис. 2) одна (или две) пары клиновых лап совершают возвратно-поступательное движение в направлении, перпендикулярном оси машины. Такие погрузочные органы могут иметь большую глубину внедрения плиты, так как не пересекаются в своем движении с работой передаточного конвейера. Вместе с тем они сохраняют простоту конструкции и надежность. К недостаткам конструкции относится наличие на плите пазов, в которых может происхо-

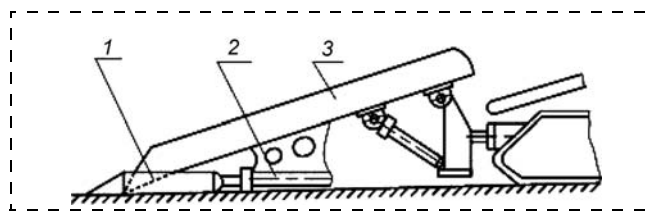


Рис. 1. Рабочий орган шахтной погрузочной машины — рамка с клиновым носком:

1 — клиновой рабочий элемент; 2 — приводные гидроцилиндры; 3 — передаточный лоток

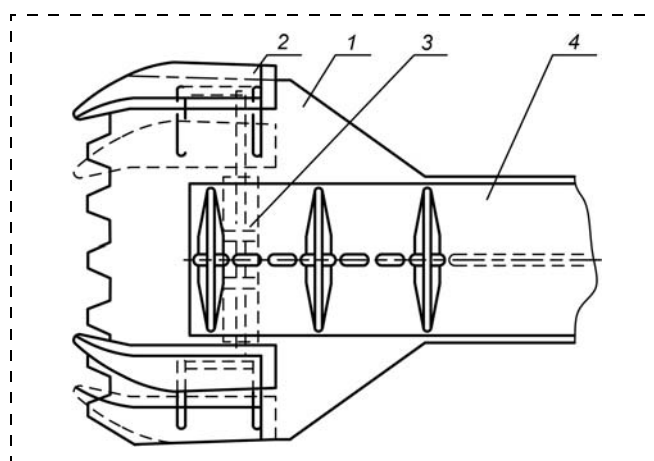


Рис. 2. Погрузочный орган с клиновыми лапами, совершающими возвратно-поступательное движение перпендикулярно оси машины (с одной парой лап):

1 — стол; 2 — клиновые лапы; 3 — двухштоковый гидроцилиндр; 4 — конвейер

дить заклинивание материала при перемещении лап. Во втором варианте для устранения указанного недостатка разработаны конструкции погрузочных органов с клиновыми поворотными лапами.

Наиболее простым по компоновке и конструктивному исполнению является погрузочный орган с двумя лапами [3], приводимыми в движение от одного двухштокового гидроцилиндра через шатунно-кривошипный механизм (рис. 3). Гидроцилиндр располагается под плоскостью наклонной плиты между ветвями скребкового конвейера. Применение гидропривода позволяет изменять фронт погрузки регулированием хода цилиндра.

Предлагаемое устройство при своей простоте и минимальном числе приводных элементов затрудняет доступ при техническом обслуживании и ремонте. Кроме того, траектория движения лап оставляет на питателе "мертвую" зону А, что влечет за собой снижение производительности рабочего органа.

На основании анализа недостатков рассмотренной конструкции была выдвинута идея, направленная на повышение ремонтпригодности и обеспечение перекрытия всей площади питателя, заключающаяся в применении лап с плоским движением клинового элемента и верхним расположением гидроцилиндров [4, 8]. Погрузочный орган (рис. 4) состоит из наклонного питателя 1, по которому перемещаются клиновые в поперечном сечении нагребавшие лапы 2. Элементы привода предлагаемой конструкции расположены над приемной плитой питателя, что облегчает доступ к ним при проведении ремонтных работ и техническом обслуживании в условиях подготовительного забоя. Конструкция обеспечивает быструю замену узлов (нагребавшая лапа 2, гидроцилиндры 3, опора 4, палец с роликом 7). Отсутствие в зоне погрузки редукторных групп, синхронизирующих механических элементов, приводного электродвигателя позволяет повысить срок службы погрузочного органа.

К недостаткам рассматриваемого технического решения можно отнести трудность изменения фронта погрузки, так как это связано с установкой уширителей питателя с направляющими пазами 6, которые задают траекторию движения лап. Кроме того, последовательное расположение лап и гидроцилиндров привода привело к увеличению длины питателя. Снижение надежности рабочего органа может быть вызвано наличием открытой части штока, находящейся в непосредственном контакте с погружаемым материалом.

Дальнейшее совершенствование погрузочного органа позволило создать более компактную кон-

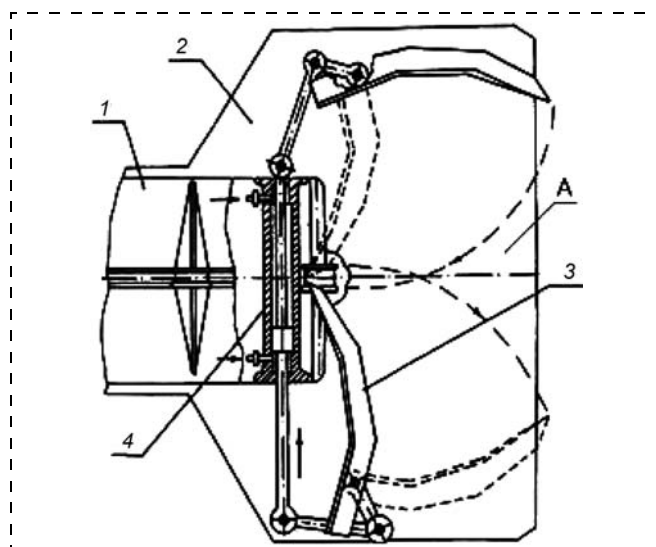


Рис. 3. Погрузочный орган с клиновыми поворотными лапами: 1 — конвейер; 2 — наклонный питатель; 3 — нагребавшие лапы; 4 — двухштоковый гидроцилиндр

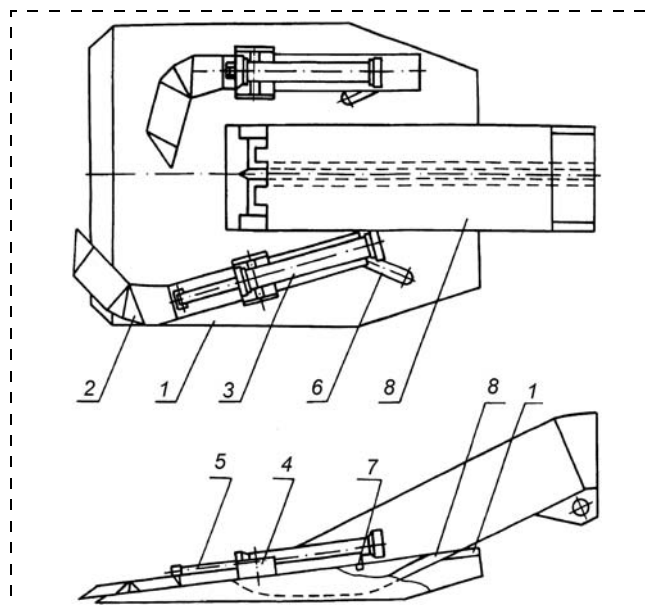


Рис. 4. Погрузочный орган с клиновыми лапами, совершающими плоское движение: 1 — наклонный питатель; 2 — нагребавшие лапы; 3 — гидроцилиндр перемещения лапы; 4 — опора; 5 — шток гидроцилиндра; 6 — направляющий паз; 7 — палец с роликом; 8 — конвейер

струкцию (рис. 5) и устранить открытую часть силового гидроцилиндра при сохранении возможностей по производительности [5]. Погрузочный орган применен для экспериментального образца погрузочной машины МПНК, изготовленной Копейским машиностроительным заводом. Целью разработки явилось повышение надежности конструкции нагребавшей части с одновременной возможностью быстрой переналадки траектории движения лап 2 для обеспечения погрузки горной массы при изменении ширины вы-

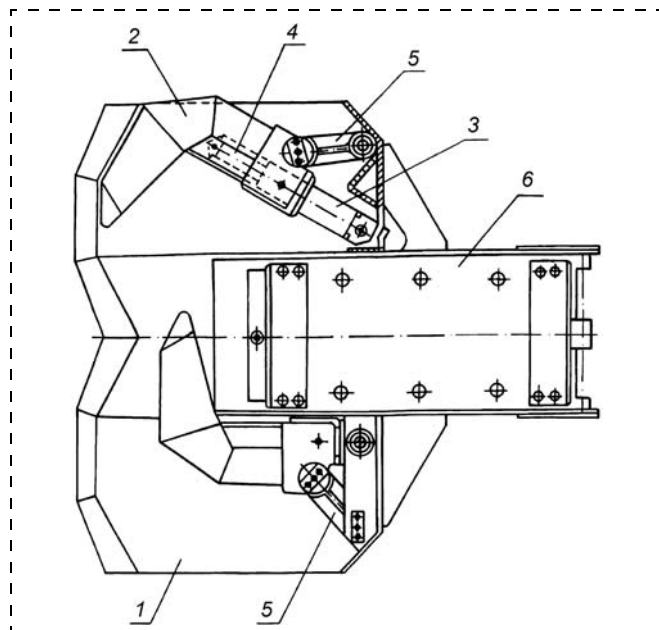


Рис. 5. Погрузочный орган экспериментального образца машины МПНК: 1 — наклонный питатель; 2 — нагребавшие лапы; 3 — гидроцилиндр; 4 — шток; 5 — кривошип; 6 — конвейер

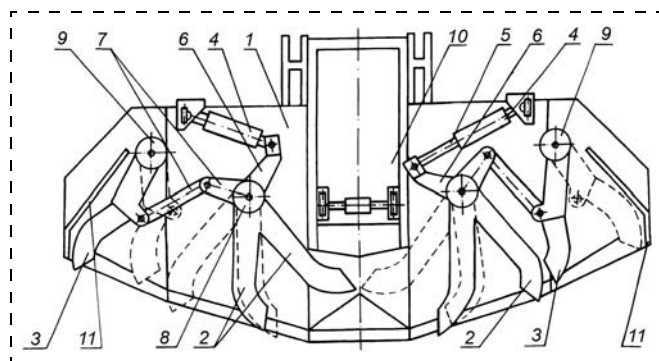


Рис. 6. Многогребковый погрузочный орган со встречным движением основных и периферийных гребков: 1 — наклонный питатель; 2 — основной гребок; 3 — периферийный гребок; 4 — гидроцилиндр; 5 — шток гидроцилиндра; 6 — рычаг; 7 — система рычагов; 8, 9 — опоры; 10 — конвейер

работки. Поставленная цель достигнута тем, что лапа с клиновым в поперечном сечении гребком является кулисой, внутри которой размещен гидроцилиндр 3 со штоком 4, причем корпус гидроцилиндра является одновременно направляющей для лапы, а корпус лапы защищает шток гидроцилиндра от внешних воздействий. Совмещение функций гидроцилиндра и направляющей лапы-кулисы с кривошипом 5 позволяет при сохранении функций и траектории движения лап погрузочного органа повысить работоспособность конструкции путем исключения направляющего паз в питателе и пальца с роликом.

Решение задачи создания погрузочных органов с клиновыми лапами увеличенной ширины найдено при создании технических решений в многогребковом исполнении. Разработан ряд ва-

риантов многогребковых погрузочных органов с клиновыми лапами [10–12], из которых варианты [10, 11] конструктивно сложны. Более эффективный вариант такого погрузочного органа [12] реализован в совместной разработке ЮРГТУ и Копейского машиностроительного завода при создании экспериментального образца комбайна КП-20 (рис. 6). Каждая группа лап приводится в возвратно-поворотное движение от гидроцилиндра через кривошипно-шатунный механизм. Кинематически механизм может компоноваться для параллельного и встречного движения лап.

Предложенный погрузочный орган конструктивно прост за счет использования в качестве приводных элементов силовых гидроцилиндров, ликвидации редукторных групп в зоне интенсивного износа. Расширение фронта погрузки обеспечивает повышение эффективности за счет увеличения производительности и снижения удельных энергозатрат.

Исследования и разработки в целях создания новых конструкций погрузочных органов с клиновыми элементами продолжают и направлены на поиск эффективных схемных решений, прежде всего в области усовершенствования гидравлического привода рабочих элементов.

На основании анализа существующих конструкций погрузочных органов горно-проходческих машин с клиновыми элементами установлен ряд главных признаков, позволяющих обоснованно подойти к разработке классификации рассматриваемых погрузочных органов. В основу построения классификации приняты два основных признака, определяющих их производительность и область применения — число элементов и вид движения (рис. 7): с одним элементом 1Э, парой элементов 1ПЭ, двумя и более парами элементов 2ПЭ; с возвратно-поступательным В-П, возвратно-вращательным В-В и возвратным плоским движением В-ПЛ.

Остальные признаки, такие как вид кулис, пазов, обеспечивающих определенную траекторию движения, исполнение привода лап и т. п.

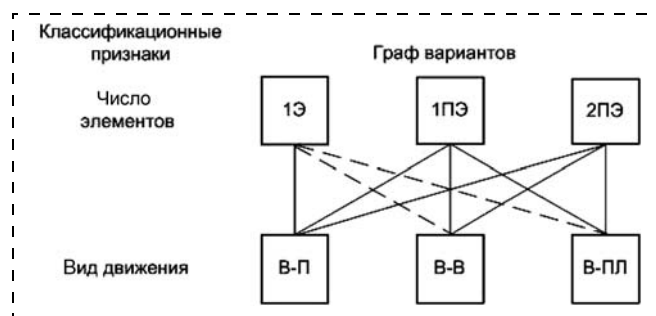


Рис. 7. Классификация погрузочных органов с клиновыми элементами

являются вспомогательными, обеспечивающие множество конструктивных решений внутри классификационной группы.

Конструктивные исполнения, полученные в результате сочетаний признаков, соединенных на рис. 7 пунктирной линией, возможны к разработке, сплошной линией — разработанные технические решения. Например, погрузочный орган с одной парой и возвратно-поступательным движением элементов 1ПЭ—В-П представлен на рис. 2; с двумя и более парами элементов и возвратным плоским движением 2ПЭ—В-ПЛ представляет собой многоребровый орган, изображенный на рис. 6.

Клиновые элементы также нашли применение в конструкциях проходческих перегружателей для транспортирования крепких пород. Разработаны, созданы и испытаны перегружатели с возвратно-поступательным движением клинового тягово-транспортирующего органа (ТТО) и гидроприводом [13—17].

Отличительная особенность проходческого перегружателя состоит в том, что их клиновые элементы совершают перемещение груза по всей длине трассы, соответствующей длине перегружателя. Эта особенность не позволяет разработать единую классификацию рабочих органов с клиновыми элементами для перечисленных горно-проходческих машин и требует индивидуального подхода.

Принципиально клиновой перегружатель состоит из желоба и клинового ТТО (рис. 8). Возвратно-поступательное движение ТТО передается от силовых цилиндров. Клиновой ТТО состоит из транспортирующих и подпорных элементов. Транспортирующие и подпорные элементы установлены поочередно и параллельно друг другу с шагом установки; эти элементы имеют форму клина, обращенного заостренной частью в сторону, противоположную направлению транспортирования груза. При движении активного клина вперед заостренной частью он проходит с малыми сопротивлениями сквозь транспортируемый материал; стопорные элементы обеспечивают торможение перемещения порции груза вместе с активными клиньями. При движении клина в противоположную сторону с транспортируемым материалом взаимодействует вертикальная сторона клина, вследствие чего порция груза, находящаяся внутри данной ячейки, передается в соседнюю. Конструктивно клиновые перегружатели могут выполняться по различным схемам:

1) с подвижным днищем, на котором жестко закреплены транспортирующие клиновые элементы; днище с этими элементами с помощью гидроцилиндров возвратно-поступательно пере-

мещается в направляющих; стопорные клиновые элементы при этом жестко соединены с боковыми стенками (бортами желоба) (см. рис. 8), эта схема получила название *грузонесущей*;

2) подвижные элементы соединены жестко между собой, опираются на направляющие, расположенные в боковых стенках желоба, стопорные элементы жестко связаны с неподвижным днищем, схема названа *скользящей* (рис. 9).

Основным недостатком рассмотренных схем является наличие незначительного обратного грузопотока, снижающего производительность процесса транспортирования.

В целях повышения эффективности клиновых перегружателей предложены варианты технических решений с *изменяемой геометрией транспортирующих элементов* [15, 16]. Конструктивно

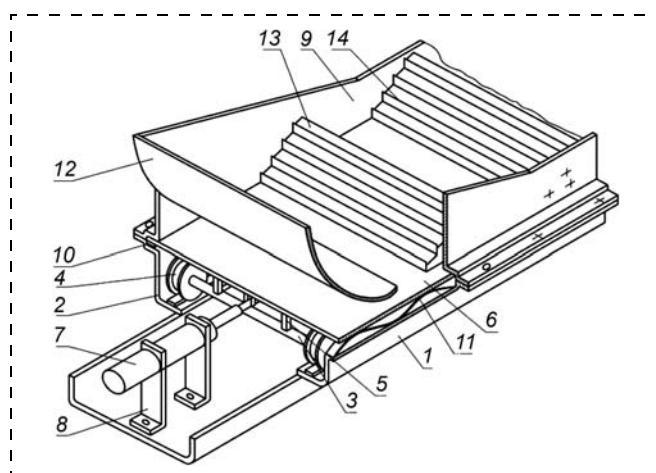


Рис. 8. Конструкция клинового перегружателя грузонесущего типа: 1 — базовая рама; 2 — направляющие; 3 — ось; 4 — катки; 5 — штанги; 6 — днище; 7 — гидроцилиндр; 8 — опора; 9 — борт; 10 — пазы базовой рамы; 11 — пластинчатая пружина; 12 — бункер; 13 — транспортирующий клиновой элемент; 14 — стопорный клиновой элемент

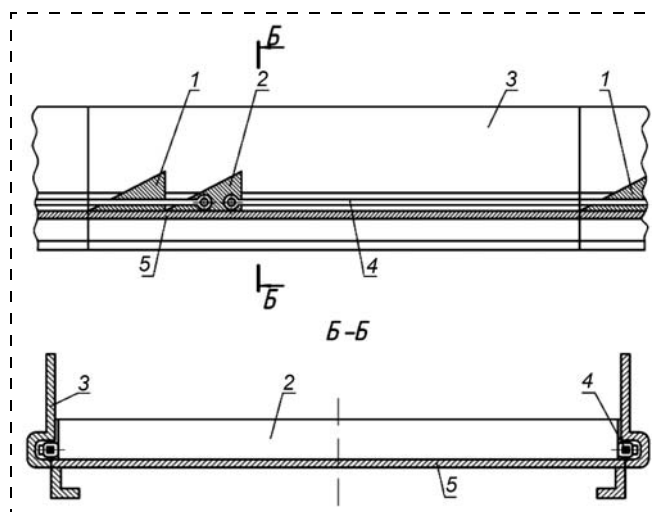


Рис. 9. Конструкция клинового перегружателя скользящего типа: 1 — неподвижный транспортирующий элемент; 2 — подвижный транспортирующий элемент; 3 — борт; 4 — тяги; 5 — днище

перегрузатель (рис. 10 и 11) включает в себя две последовательные взаимно сопряженные группы клиновых подпорных элементов, установленных так, что клинья каждой из групп чередуются, причем одна группа состоит из стопорных элементов, закрепленных на бортах перегружателя, а другая — из транспортирующих элементов, шарнирно соединенных с подвижным днищем.

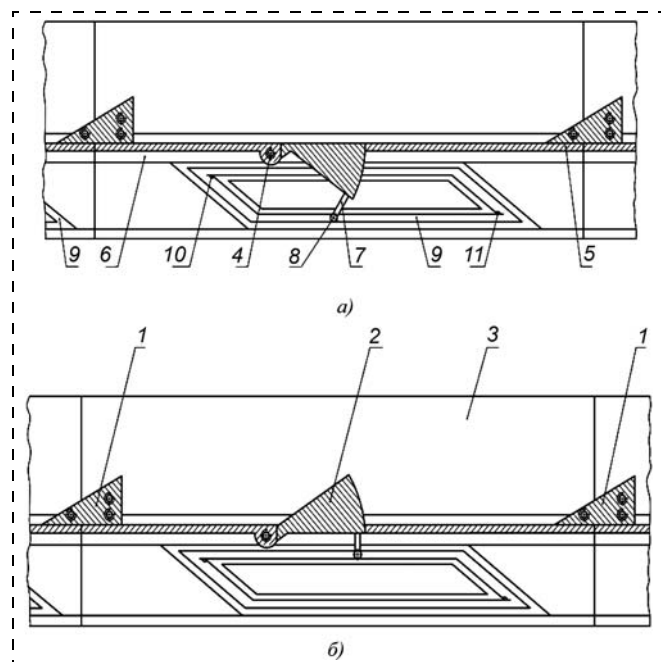


Рис. 10. Перегрузатель с управлением клиновым транспортирующим элементом от неподвижных направляющих:

a — процесс внедрения; *б* — процесс транспортирования; 1 — стопорные элементы; 2 — транспортирующие элементы; 3 — борта; 4 — ось; 5 — днище; 6, 9 — направляющие; 7 — рычаг; 8 — ролик; 10, 11 — стопоры

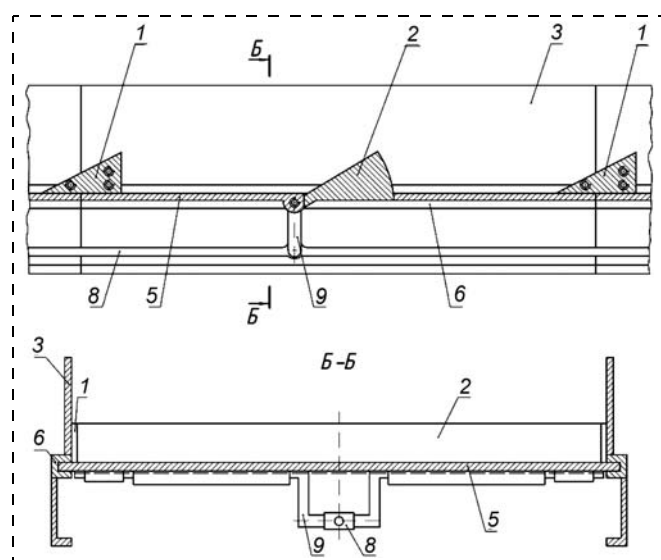


Рис. 11. Перегрузатель с управлением клиновым транспортирующим элементом от силовых цилиндров:

1 — стопорные элементы; 2 — транспортирующие элементы; 3 — борта; 5 — днище; 6 — направляющие; 8 — тяги; 9 — коленчатый вал

Днище установлено с возможностью возвратно-поступательного движения по направляющим от силовых гидроцилиндров. При перемещении днища перегружателя в направлении, противоположном полезному грузопотоку (процесс внедрения, см. рис. 10, *a*), транспортирующие клиновые элементы занимают положение, при котором их наклонная поверхность расположена в плоскости с днищем перегружателя. При изменении направления движения днища (процесс транспортирования, см. рис. 10, *б*) транспортирующие клиновые элементы движутся вместе с днищем в положение, когда их высота относительно плоскости днища максимальна. После этого цикл повторяется. Конструкция, представленная на рис. 10, отличается сложностью механических узлов, управляющих изменением высоты транспортирующих элементов.

Решение этой задачи найдено путем использования гидропривода и для возвратно-поступательного перемещения ТТО, и для управления высотой транспортирующих элементов (см. рис. 11). Для обеспечения синхронности работы всех транспортирующих элементов коленчатые валы соединены между собой тягами, которые соединены с приводом. Предложенные конструкции перегружателей позволяют практически устранить явление обратного грузопотока. Однако наличие стопорных клиньев на пути полезного грузопотока повышает сопротивления транспортированию и приводит к снижению эффективности перегружателей.

Проблема транспортирования материала по наклонной поверхности стопорного клина привела к разработке нового перегружателя [17]. Перегрузатель (рис. 12) включает в себя две группы транспортирующих элементов (ТЭ), установленных так, что элементы каждой из групп чередуются. Одна группа состоит из неподвижных ТЭ, выполненных в виде двух жестко соединенных между собой частей — прямолинейной и дугообразной. Неподвижные ТЭ шарнирно закреплены на противоположных неподвижных бортах перегружателя при помощи оси, с которой жестко связаны прямолинейными частями. Другая группа состоит из подвижных клиновых ТЭ, жестко закрепленных на днище перегружателя. Изменение положения неподвижных ТЭ относительно поверхности борта осуществляется при помощи зубчатого зацепления шестерня—рейка. В процессе транспортирования неподвижные ТЭ раздвинуты и не мешают полезному грузопотоку, а при изменении направления движения днища они задвигаются внутрь желоба перегружателя и препятствуют обратному грузопотоку.

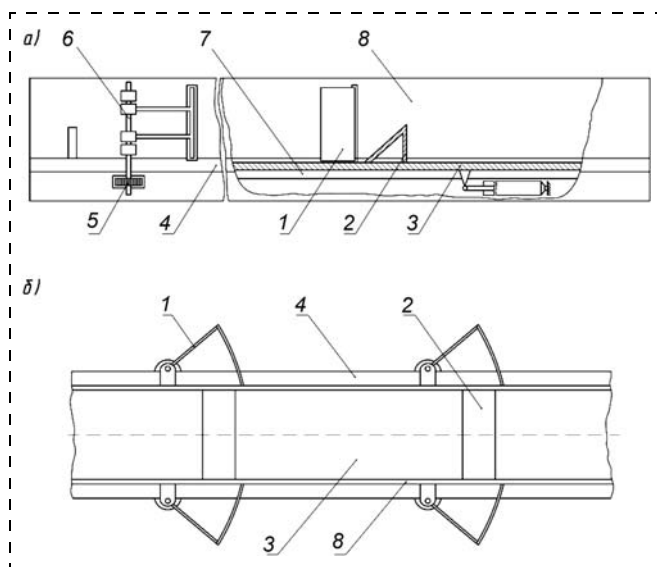


Рис. 12. Перегрузатель с изменяемой геометрией неподвижных элементов: а — общий вид перегружателя; б — вид сверху секции перегружателя; 1 — неподвижные ТЭ; 2 — подвижные клиновые ТЭ; 3 — днище; 4 — направляющие; 5 — шестерни; 6 — ось; 7 — зубчатая рейка; 8 — борта

Дальнейшим развитием этой идеи стала конструкция перегружателя, в которой транспортирующие элементы изменяют свое положение относительно бортов, выполняющих функцию ТТО.

На основании анализа разработанных конструкций проходческих перегружателей выявлены главные классификационные признаки клиновых тягово-транспортирующих органов: с постоянной (неизменяемой) и изменяемой геометрией элементов. Первая группа в зависимости от крепления транспортирующих элементов разделяется на две подгруппы, сконструированные по грузонесущей или скользящей схеме. Вторая группа в зависимости от направления утапливания клиньев разделяется также на две подгруппы: с клиновыми элементами, изменяющими свое положение относительно днища и относительно бортов.

Список литературы

1. **Проходческие** погрузочно-транспортные модули и подсистемы угольных шахт на основе клиновых гидротирированных исполнительных органов / под общ. ред. проф. Г. Ш. Хазановича; Шахтинский ин-т ЮРГТУ. Новочеркасск: ЮРГТУ, 2001. 252 с.
2. **А.с. 870311 СССР**, МКИ G65G65/02. Погрузочная машина / В. Г. Сильня, Г. Ш. Хазанович, В. В. Волков. Заявл. 01.06.78; Оpubл. 17.10.81, Бюл. № 37.
3. **А.с. 1661454 СССР**, МКИ E21 F13/00. Рабочий орган погрузочной машины / Ю. М. Ляшенко, В. Г. Хазанович (СССР). № 4642690/03. Заявл. 30.01.89; Оpubл. 07.07.91. Бюл. № 25.
4. **А.с. 12099000 СССР**, МКИ E21F13/00. Рабочий орган погрузочной машины / В. В. Семенов, С. И. Носен-

ко, В. Н. Семерников. Заявл. 18.09.84; Оpubл. 07.02.86, Бюл. № 5.

5. **А.с. 1686187 СССР**, МКИ E21F13/00. Рабочий орган погрузочной машины / В. В. Волков, В. Г. Хазанович, А. Г. Скуров, В. П. Тулупов, А. Ю. Головченко. Заявл. 21.04.89; Оpubл. 23.10.91, Бюл. № 39.

6. **А.с. 1709120, МКИ E21F13/00**. Погрузочный орган / Ю. М. Ляшенко, В. Г. Хазанович, А. Г. Скуров, Е. А. Сафонцева. Заявл. 21.04.89; Оpubл. 30.01.92, Бюл. № 4.

7. **А.с. 973872 СССР**, МКИ E21 F 13/00. Погрузочный орган непрерывного действия / Г. Ш. Хазанович, С. Е. Лоховинин и др. (СССР). № 3231495/034. Заявл. 04.01.81; Оpubл. 15.04.82. Бюл. № 42.

8. **А.с. 1138519 СССР**, МКИ E21 F 13/02. Рабочий орган погрузочной машины / Е. И. Киселев, В. В. Семенов, С. И. Носенко, В. Н. Семерников, А. С. Носенко (СССР). № 3649886/03. Заявл. 04.08.83; Оpubл. 07.02.85. Бюл. № 5.

9. **А.с. 1218149 СССР**, МКИ E21 F 13/02. Погрузочный орган горной машины / В. Г. Сильня, Г. Ш. Хазанович, В. Е. Александров, В. В. Волков (СССР). № 3827020/22. Заявл. 18.12.84; Оpubл. 15.03.86. Бюл. № 10.

10. **А.с. 1721268 СССР**, МКИ E21 F 13/00. Многогребковый погрузочный орган / А. Г. Скуров, В. Г. Хазанович, И. И. Юров, В. В. Горшков, Г. Э. Гюбнер. Заявл. 24.04.90; Оpubл. 23.03.92. Бюл. № 11.

11. **А.с. 1709120 СССР**, МКИ E21 F 13/02. Погрузочный орган / В. Г. Хазанович, Ю. М. Ляшенко, А. С. Носенко, Е. А. Сафонцева А. Г. Скуров. Заявл. 21.02.89; Оpubл. 30.01.92. Бюл. № 4.

12. **А.с. 1721268 СССР**, МКИ E21 F 13/00. Многогребковый погрузочный орган / А. Г. Скуров, В. Г. Хазанович, И. И. Юров, В. В. Горшков, Г. Э. Гюбнер (СССР). № 4836350/03. Заявл. 24.09.90; Оpubл. 23.03.92. Бюл. № 11.

13. **А.с. 1684184 СССР**, МКИ B65 G25/00, 25/08. Конвейер для транспортирования сыпучих и кусковых материалов / В. Г. Сильня, Г. Ш. Хазанович, А. А. Остановский (СССР). № 4753039/03. Заявл. 07.09.89; Оpubл. 15.10.91, Бюл. № 38.

14. **Патент RU 2108955** МКИ B65 G25/08. Конвейер для транспортирования кусковых и сыпучих материалов / Г. Ш. Хазанович, Ю. М. Ляшенко, Е. В. Никитин, А. А. Остановский, Р. В. Каргин. № 96103745/03. Заявл. 31.01.96. Оpubл. 20.04.98, Бюл. № 11.

15. **Патент RU 2102304** МКИ B65 G25/00, 25/08. Конвейер для транспортирования кусковых и сыпучих материалов / Г. Ш. Хазанович, Ю. М. Ляшенко, И. В. Ляшенко, А. С. Носенко, В. Н. Чирков, Р. В. Каргин. Заявл. 16.01.96. Оpubл. 20.01.98, Бюл. № 2.

16. **Патент RU 2108954** МКИ B65 G25/08. Конвейер для транспортирования кусковых и сыпучих материалов / Г. Ш. Хазанович, Ю. М. Ляшенко, А. С. Носенко, Р. В. Каргин. Заявл. 31.01.96. Оpubл. 20.04.98, Бюл. № 11.

17. **Патент RU 2213034** МКИ B65 G25/08. Конвейер для транспортирования сыпучих и кусковых материалов / Г. Ш. Хазанович, А. С. Носенко, В. П. Тулупов, Р. В. Каргин, А. В. Гаценко. Заявл. 08.01.02. Оpubл. 27.09.03, Бюл. № 27.

УДК 624.19(06)

Г. Ш. Хазанович, д-р техн. наук, проф., В. Г. Черных, канд. техн. наук, зав. кафедрой, ШИ(ф) ЮРГТУ (НПИ), г. Шахты,

В. Е. Петрашев, гл. механик, ООО "ГИСК", г. Сочи

E-mail: gmo@itsinpi.ru

Технология работ и эксплуатация горно-проходческого оборудования при строительстве олимпийских объектов

Изложены особенности эксплуатации комплекта горно-проходческого оборудования, возникающие в условиях жесткого ограничения времени при строительстве тоннелей в районе города-курорта Сочи.

Ключевые слова: тоннель, горно-проходческое оборудование, эксплуатация, надежность.

G. Sh. Khazanovich, V. G. Chernykh, V. E. Petrashev

Technology of Works and Exploitation of Mining Tunneling Equipment when Building the Olympic Objects

Peculiarities of exploitation of the mining tunneling equipment complex in the conditions of rigid restriction in time at tunnels building in the district of town-resort Sochi are expounded.

Keywords: tunnel, tunneling equipment, exploitation, reliability.

Введение

В рамках реализации Федеральных программ развития транспортной инфраструктуры Юга России, подготовки города-курорта Сочи к предстоящей зимней Олимпиаде-2014 выполняется значительный объем работ, в том числе два крупных инфраструктурных проекта: строительство дороги "Дублер Курортного проспекта г. Сочи" и совмещенной (автомобильной и железной) дороги "Адлер—горно-климатический курорт "Альпика-Сервис" протяженностью трасс соответственно 16 и 45 км, состоящих из эстакад, мостов, насыпей и тоннелей.

Общая протяженность первого объекта около 16 км, причем 7 км из них пройдет в девяти тоннелях, шесть из которых — парные. На совмещенной дороге запроектировано: шесть железнодорожных тоннелей общей протяженностью 10,5 км и три автодорожных общей длиной 7,5 км. Между комплексами, включающими железнодорожный и автомобильный тоннели, предусмотрены штольни общей протяженностью 9,1 км.

Решение крупной задачи своевременного строительства с обеспечением эксплуатационной надеж-

ности тоннелей осложняется наличием большого разнообразия климатических, топографических и горно-геологических условий мест расположения тоннельных сооружений и связанным с этим способов проходки и используемой техники. Но главное требование — это сокращенные сроки строительства.

В настоящее время работы на всех объектах ведутся в соответствии с ранее утвержденными календарными планами строительства. Проходка тоннелей ведется в условиях, связанных с экзогенными геологическими процессами (нарушенные грунтовые массивы, оползни, карсты, тектонические разломы) при высокой сейсмичности района — 9 баллов.

Анализ практики строительства транспортных тоннелей в нашей стране и за рубежом показывает, что значительное повышение экономических показателей и сокращение сроков можно обеспечить только в результате реализации единого подхода, базирующегося на взаимосвязанных компонентах совершенствования организации и технологии работ с применением высокоэффективных технических решений [1].

Целью настоящей работы являются оценка сложившейся ситуации и анализ особенностей эксплуатации оборудования при проведении тоннелей в условиях высоких темпов строительства.

Технология работ

Ввиду того, что сечение строящихся тоннелей составляет более 110 м^2 , они проводятся способом ступенчатого забоя, при котором забой по вертикали делится на две части (ступени): верхняя — калотта (рис. 1, область I) и нижняя — штроссы (см. рис. 1, область II).

Наиболее распространенные способы строительства тоннелей — горный с применением буровзрывных работ или тоннелепроходческих машин и щитовой. Однако основной объем горностроительных работ в г. Сочи выполняется с помощью комбайнов избирательного действия. Применение при их использовании прогрессивной, так называемой, новоавстрийской технологии, позволяет получить высокие темпы проходки, до 100 м/мес и более. Новоавстрийский тоннельный метод (NATM) заключается в том, чтобы, применяя податливую крепь (крепь из набрызг-бетона, арматурных арок и анкеров с постоянным маркшейдерским контролем за деформацией обделки) сразу после отбойки горной массы, можно допустить повышенные деформации контура выработки, но не позволить им превысить критические пределы. В результате достигается экономия за счет применения более легких конструкций.

Разработка забоя тоннелей по породам крепостью более 6 ед. по шкале проф. М. М. Протодьяконова выполняется буровзрывным способом, используя технологию контурного взрывания с дальнейшей доработкой проходческим комбайном до проектного контура заходками по 2,0...3,0 м. Погрузка и за-

чистка осуществляются погрузочной или погрузочно-доставочной машинами и транспортируется подземными автосамосвалами. Нанесение набрызг-бетона осуществляется установкой для торкретирования. Бурение шпуров и установка сталеполимерных монтажных анкеров выполняются роботизированной буровой установкой. Затем выполняется монтаж арматурных рамок, сетки и осуществляется повторное нанесение набрызг-бетона по стенам и своду, который выполняет роль временной крепи и сводит к минимуму время нахождения выработки в незакрепленном состоянии (рис. 2). В аналогичной последовательности проводится разработка

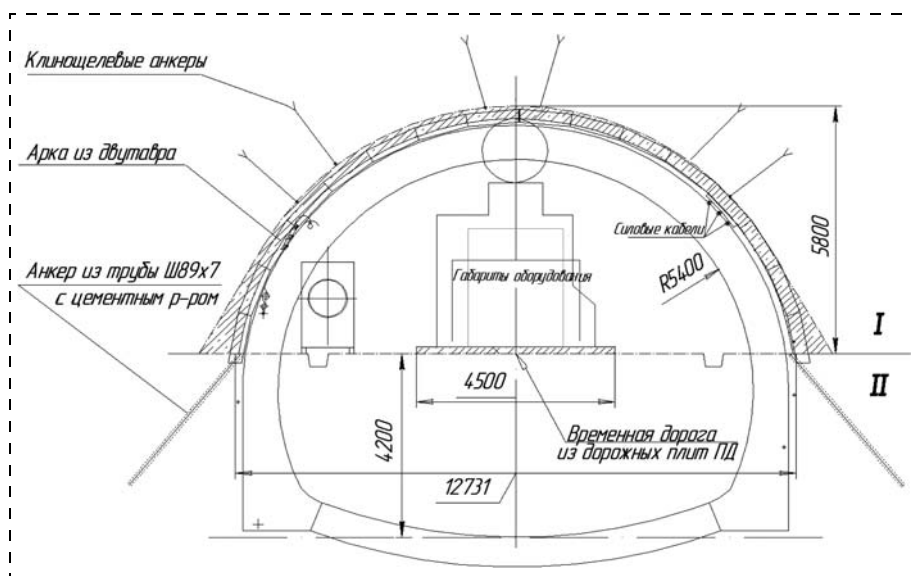


Рис. 1. Поперечное сечение тоннеля

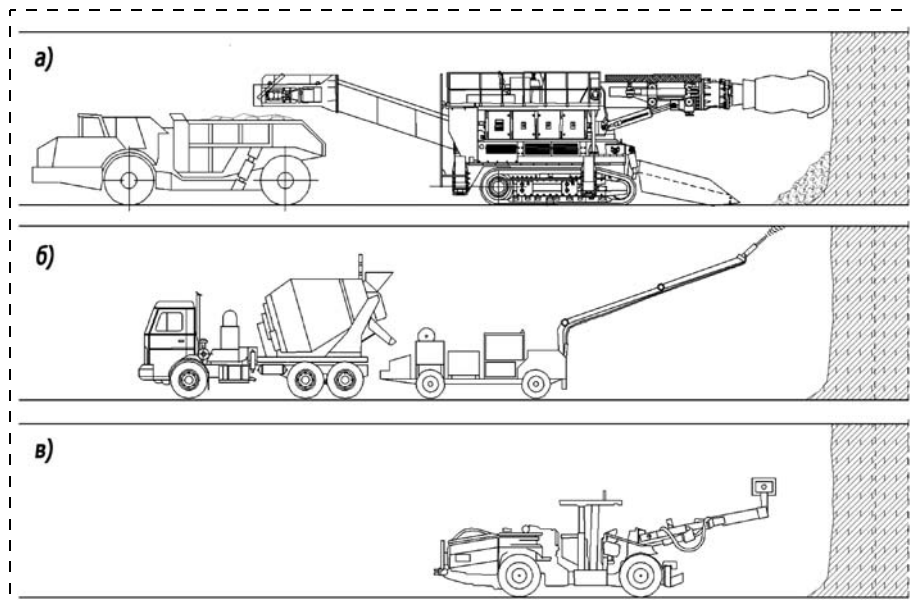


Рис. 2. Технологические этапы при проходке калотты:

а — выемка горной массы и погрузка в средство транспортирования; б — нанесение набрызг-бетона по стенам и своду; в — бурение и установка анкеров

штрассовой части тоннеля. В завершении приступают к обделке тоннеля, при которой устанавливается промежуточная пленочная гидроизоляция и проводится постоянная обделка из монолитного железобетона.

Применяемое оборудование

Для разработки породы калотты тоннеля в данных горно-геологических условиях применяют комбайны тяжелого класса, такие как Mitsui Miike MRH S200, Voest Alpine ATM-105, Wirth T3.20.

Транспортировка отбитой горной массы осуществляется самосвальными автопоездами МоАЗ 7405 или погрузочно-доставочными машинами Sandvik типа LH410. Установка арок временной крепи ведется аркоустановщиком Utilift 200 BAQ. Для бурения скважин под анкера применяются буровые установки Robolt 07-03 или оснащенные электронной системой управления с бортовым компьютером — AC Boomer EX3C. Набрызг-бетон наносится установками для торкретирования Jaco Roboshot МК-4, Sika PM 500. Для доставки бетона используются специальные автобетоносмесители Transmix 3000 или смесители Tigarbo АБС-7 на базе автомобиля КамАЗ 65115, оборудованные нейтрализаторами выхлопных газов.

Практически все оборудование, применяемое при строительстве тоннелей, импортное, так как отечественная промышленность не производит даже аналогов.

Применение нового австрийского способа проходки позволяет достигать высоких темпов проведения тоннеля и сокращать расходы на строительные материалы, но одновременно увеличивает число видов применяемой техники. Так, например, комплекты горно-проходческого оборудования (ГПО), применяемые при строительстве тоннеля

№ 2 дублера Курортного проспекта г. Сочи и комплекса тоннелей № 5 совмещенной дороги "Адлер—"Альпика-Сервис", представлены в табл. 1, что указывает на многообразие технологических машин, сконцентрированных на аналогичных по назначению объектах.

Эксплуатация оборудования

Высокие темпы строительства тоннелей, обусловленные ограничением времени подготовки к олимпиаде, требуют высокой готовности ГПО. Для выявления ключевых особенностей эксплуатации ГПО при строительстве тоннелей нами проведен обзор систем эксплуатации строительных организаций и анализ работы горно-проходческого оборудования.

В строительных организациях используется как система технической эксплуатации по заданному ресурсу, так и по состоянию оборудования. Для некоторых видов дорогостоящего оборудования (отдельные проходческие комбайны, бурильные установки) применяется система фирменного сервисного обслуживания.

Система эксплуатации по заданному ресурсу реализуется с помощью системы планово-предупредительного ремонта, обладающей известными недостатками. В свою очередь, система эксплуатации по состоянию применяется на основе стратегии замены узлов и деталей "по отказу". Перейти полностью на фирменное сервисное обслуживание оборудования не удалось ввиду отсутствия сервисных центров ряда иностранных компаний или весьма высокой его стоимости.

Для количественной оценки системы эксплуатации на основе разработанной на кафедре ТКГСиМП Шахтинского института ЮРГТУ (НПИ) методики проведены 6-месячные наблюдения за работой трех

Таблица 1

Комплекты ГПО, применяемые при строительстве тоннелей

Процесс	Тоннель № 2		Комплекс тоннелей № 5	
	Южный портал	Северный портал	Южный портал	Северный портал
Разработка забоя калотты	ПК Wirth T3.20	ПК Wirth T2.61	ПК Mitsui MRH S200	ПК Voest Alpine ATM-105
Разработка штрассы	ПК Wirth T3.20	ПК Wirth T2.61	ПК Liebherr R944 C	ПК Liebherr R944 C
Зачистка забоя/ транспортирование	ПНБ-4 Д/МоАЗ-7445	ПНБ-4 Д/МоАЗ-7445	Sandvik LH410	Sandvik LH410
Бурение шпуров	AC Boomer	AC Boomer	AC Boomer EX3C	AC Boomer
Установка анкеров	AC Boltec LS	—	AC Boltec LS	—
Нанесение набрызг-бетона	Sika PM 500, КамАЗ 65115	Sika PM 500, КамАЗ 65115	Jaco Roboshot МК-4, Transmix 3000	Sika PM 500, Transmix 3000
Монтаж крепи	Tigarbo АБС-7	Tigarbo АБС-7	Utilift 200 BAQ	Utilift 200 BAQ
Выполнение обделки	Utilift МН	Utilift МН	Saga Cogio	Shwing
	СМН-2	СМН-2		

Таблица 2

Показатели надежности ряда машин, используемых при проходке тоннелей

Марка машины	Среднее время работы за смену, маш.-ч	Работа за исследуемый период, маш.-ч	Число отказов за исследуемый период	Наработка на отказ, маш.-ч
Wirth T3.20	5,25	2929,5	142	20,63
Roboshot	2,4	710,4	98	7,25
Robolt 07-03	0,72	205,4	158	1,3

видов ГПО (комбайн Wirth T3.20, установка для торкретирования Roboshot и бурильная установка Robolt 07-03). Общие результаты проведенных исследований эксплуатационной информации представлены в табл. 2. Так, например, общее число отказов комбайна Wirth T3.20 составило 142 (из которых 60 — отказы ходовой части). Нарботка на отказ комбайна составила 20,63 маш.-ч, что меньше общестатистических значений, определенных производителем. Большая часть отказов (от 55 до 86 %) приходится на механические системы эксплуатируемого оборудования.

Установлен ряд особенностей эксплуатации, заключающихся в следующем:

1) высокая интенсивность работы, значительные динамические нагрузки и сложные горно-геологические условия приводят к тому, что у импортной техники наработка на отказ меньше общестатистических значений, определенных производителем;

2) отсутствие возможности вывода техники на плановые мероприятия по техническому обслуживанию и ремонту (необходимо четкое планирование для совмещения технологических процессов с процедурами технического обслуживания) приводит к появлению частичных отказов и снижению качества функционирования техники, а следовательно, и снижению производительности;

3) для сохранения высоких темпов строительства тоннелей механические службы некоторых компаний идут на сверхзатраты, искусственно обосновывая перед технологическими и экономическими отделами необходимость в резервных

единицах комплекта горно-проходческой техники, тем самым увеличивая затраты строительной компании, вынужденной арендовать или брать в лизинг технику;

4) отсутствие четкой слаженной системы сбора, хранения и обработки эксплуатационной информации, анализ которой позволил бы построить систему принятия решений в помощь механикам участков и компаний;

5) отсутствие необходимых запасных частей не только в России, но и у производителя (за рубежом) увеличивает среднее время восстановления, что уменьшает готовность техники к работе и является подтверждением важности информационной поддержки (связи) производителей и сервисных центров с эксплуатационниками.

Заключение

Проходка тоннелей — весьма сложный технологический процесс с большим числом разнопрофильного единичного оборудования, при котором обеспечение его высокой готовности при минимальных затратах возможно только на основе применения современных информационных систем управления надежностью.

Использование прогрессивных технологий строительства тоннелей и современного высоконадежного импортного оборудования без применения информационных технологий в сфере эксплуатации машин (включающих сбор, хранение, анализ данных, применение алгоритмов и разработку специализированного программного обеспечения) обеспечивает выполнение календарного графика работ строительными организациями с повышенными затратами. Представленные проблемы являются актуальными научно-практическими задачами, которые требуют всестороннего изучения и решения.

Список литературы

1. Полянкин Г. Н. Инновационные технологии, внедрение при строительстве тоннельных объектов в г. Сочи. rus-tar.ru/public/articles/Poljankin_23-01-2012.pdf.

УДК 621.86.065.3

М. Н. Хальфин, д-р техн. наук, проф., **И. А. Еременко**, канд. техн. наук, доц.,
ЮРГТУ (НПИ), г. Новочеркасск

E-mail: Xalfin@km.ru

Метод выбора шахтных канатов

Предложен метод выбора шахтного подъемного каната на основе аппроксимации степенной функцией зависимости диаметра каната от суммарной площади поперечных сечений проволок.

Ключевые слова: конструкция каната, рациональный выбор, металлоемкость.

M. N. Khalfin, I. A. Eremenko

The Method of the Shaft Rope Choice

Here is offered the method of the shaft the lifting rope choice that is based on the time function approximation of the equation of regression used to the standard rope constructions.

Keywords: rope construction, rational choice, metal consumption.

Согласно [1, 2] расчетное суммарное разрывное усилие проволок рассчитывается по формуле

$$P_p \geq Sm, \quad (1)$$

где S — максимальное натяжение каната с учетом веса поднимаемого груза, подъемного сосуда и веса каната; m — коэффициент запаса прочности каната.

По найденному суммарному усилию проволок выполняется выбор конструкции каната, его диаметра и маркировочной группы канатной проволоки. Однако этот метод требует наличия справочной литературы и ГОСТов на различные конструкции канатов.

Представим суммарное разрывное усилие проволок в виде:

$$P_p \geq \sigma_{пп} A, \quad (2)$$

где $\sigma_{пп}$ — предел прочности материала канатной проволоки (маркировочной группы); A — суммарная площадь поперечного сечения всех проволок каната.

Приравнявая (1) и (2), получим

$$A = \frac{Sm}{\sigma_{пп}}. \quad (3)$$

Для получения зависимости диаметра каната от расчетной суммарной площади поперечного сечения проволок была проведена аппроксимация степенной функцией вида

$$d = aA^b, \quad (4)$$

где a и b постоянные для каждой конструкции каната (4) и табл. 1.

В табл. 1 представлены полученные нами параметры уравнений регрессии с указанием границ их применимости для различных конструкций шахтных канатов.

В формулу (3) могут быть подставлены произвольные значения S , m , $\sigma_{пп}$. Диаметры канатов двойной свивки, изготовленные по ГОСТ 7669—80, вычислены при: $m = 9$; $S = 78,7$ кН; $\sigma_{пп} = 1770$ МПа, которые назначили в пределах, предусмотренных нормативной документацией. График (рис. 1) и

Таблица 1
Уравнения регрессии для канатов двойной свивки

ГОСТ	Конструкция каната	Параметры уравнения регрессии (4)		Граничные значения диаметра каната	
		a	b	мин.	макс.
ГОСТ 2688—80	ЛКР 6 × 19 + 0С	1,6524	0,4973	19,5	56
ГОСТ 3077—80	ЛКО 6 × 19 + 0С	1,612	0,502	23	46
ГОСТ 3079—80	ЛКО 37 × 19 + 0С	1,6673	0,4993	13,5	63
ГОСТ 3081—80	ЛКЗ 6 × 25 + 0С	1,4749	0,5017	14	47
ГОСТ 3085—80	ЛКР 6 × 19 + 0С	1,4174	0,5042	18	50
ГОСТ 3088—80	ЛКР 6 × 19 + 0С	1,605	0,4915	14,5	59,6
ГОСТ 7665—80	ЛК 36 × 25 + 0С	1,6307	0,5013	14,5	45
ГОСТ 7667—80	ЛК 36 × 25 + 0С	1,4749	0,5017	14,0	47
ГОСТ 7668—80	ЛКРО 6 × 36 + 0С	1,491	0,4957	14,5	42
ГОСТ 7669—80	ЛКРО 6 × 36 + 0С	1,4817	0,4969	14,5	57
ГОСТ 7670—80	ЛКР 8 × 19 + 0С	1,7363	0,497	15,5	61,5
ГОСТ 14954—80	ЛКР 6 × 19 + МС	1,528	0,4948	14	55

Таблица 3

Значения диаметров канатов различной конструкции, определенных с помощью уравнений регрессии

№ п/п	ГОСТ	Диаметр каната, мм	Отношение диаметров канатов d_i/d_1
d_1	ГОСТ 2688–80	32,2	1,00
d_2	ГОСТ 3077–80	32,63	1,00
d_3	ГОСТ 3079–80	33,21	1,02
d_4	ГОСТ 3081–80	29,80	0,92
d_5	ГОСТ 3085–80	29,07	0,89
d_6	ГОСТ 3088–80	30,51	0,94
d_7	ГОСТ 7665–80	32,87	1,01
d_8	ГОСТ 7667–80	29,80	0,92
d_9	ГОСТ 7668–80	29,06	0,89
d_{10}	ГОСТ 7669–80	29,09	0,89
d_{11}	ГОСТ 7670–80	34,11	1,05
d_{12}	ГОСТ 14954–80	29,62	0,91

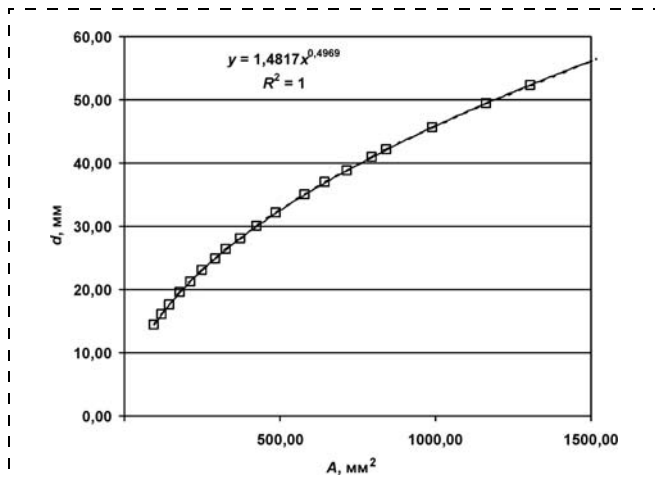


Рис. 1. Уравнение регрессии для каната, ГОСТ 7669–80

Таблица 2

Погрешность степенной аппроксимации для каната, ГОСТ 7669–80

Площадь поперечного сечения каната, мм²	Диаметр каната по ГОСТ, мм	Диаметр каната по формуле (4), мм	%
96,36	14,50	14,34	1,10
121,7	16,00	16,12	–0,72
145,03	17,50	17,57	–0,40
179,07	19,50	19,51	–0,06
213,39	21,00	21,29	–1,37
251,21	23,00	23,09	–0,37
292,10	25,00	24,88	0,47
327,43	26,50	26,33	0,63
373,25	28,00	28,11	–0,38
426,76	30,00	30,04	–0,13
487,48	32,50	32,09	1,25
580,11	35,50	34,99	1,44
646,37	36,50	36,92	–1,16
716,29	39,00	38,86	0,37
796,83	41,00	40,97	0,08
843,90	42,00	42,15	–0,37
991,84	45,50	45,68	–0,39
1163,04	49,00	49,44	–0,89
1304,05	52,00	52,33	–0,63
1520,73	57,00	56,48	0,91

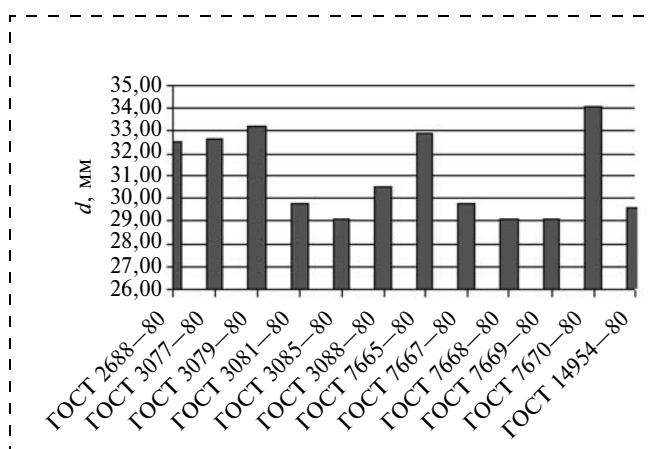


Рис. 2. Гистограмма значений диаметров канатов различной конструкции при фиксированных исходных данных

табл. 2 свидетельствуют о низком уровне погрешности степенной аппроксимации.

Аналогичные вычисления были проведены для канатов, изготовленных в соответствии с остальными ГОСТами. Максимальная погрешность не превысила 1 %.

На основе полученных уравнений регрессии были определены диаметры канатов различной конструкции при заданном коэффициенте запаса прочности, пределе прочности материала проволок и максимальном его натяжении. Результаты представлены в табл. 3 и на гистограмме (рис. 2).

Анализ данных табл. 3 показывает, что при выборе диаметра шахтного подъемного каната по расчетной площади разница между значениями диаметров канатов различных конструкций достигает 17 %. При соответствующем подборе конструкции подъемного каната можно заметно снизить металлоемкость шкива или барабана подъемной установки.

Вывод

Разработан метод выбора шахтного подъемного каната, позволяющий (при заданных коэффициенте запаса прочности, маркировочной группе и максимальном натяжении) при помощи уравнений регрессии (без использования справочных материалов) подобрать рациональную конструкцию каната и снизить металлоемкость подъемной установки.

Список литературы

1. **Инструкция** по эксплуатации стальных канатов в шахтных стволах. РД 03-439-02, "Научно-технический центр по безопасности в промышленности Ростехнадзора России". 2002.
2. **ПБ 05-618-03**. Правила безопасности в угольных шахтах. Утверждено постановлением Ростехнадзора РФ от 05.06.2003 № 50. Зарегистрировано в Минюсте России 19.06.2003 рег. № 4737.
3. **Стальные канаты** подъемно-транспортных машин: учеб. пособие / М. Н. Хальфин, А. А. Короткий, Б. Ф. Иванов, В. Б. Маслов; под ред. М. Н. Хальфина. Новочеркасск: ЮРГТУ(НПИ), 2009. 116 с.

УДК 622.619(06)

Д. В. Волков, канд. техн. наук, доц., ШИ(ф) ЮРГТУ (НПИ), г. Шахты

E-mail: sn74123@yandex.ru

Выравнивание нагрузок тяговых электроприводов шахтного электровоза с асинхронными двигателями

Рассмотрена проблема неравномерного распределения нагрузок между ведущими осями шахтного электровоза, имеющего асинхронный тяговый привод. Приведены различные подходы к построению системы автоматического выравнивания нагрузок и предложен оригинальный способ для его осуществления.

Ключевые слова: шахтный электровоз, асинхронный привод, выравнивание нагрузок.

D. V. Volkov

The Equalisation of Traction Electrodrives Loads of Mine Electric Locomotive with Induction Motors

The problem of non-equal load distribution between driving axles of mine electric locomotive, having induction traction drive, discussed. Various approaches to the building of automatic load equalization system presented and one original equalization way proposed.

Keywords: mine electric locomotive, induction drive, loads equalization.

Одним из направлений развития горного оборудования является внедрение регулируемых электроприводов с асинхронными двигателями, питаемыми от преобразователей частоты. Особенно эффективен подобный привод там, где по технологии требуется глубокое регулирование частоты вращения. К таким приводам относится и тяговый привод шахтного электровоза. Его работа характеризуется значительным изменением частоты вращения, частыми пусками и переменной нагрузкой. Применение автоматизированного асинхронного электропривода на электровозе позволяет исключить такие недостатки традиционного тягового привода с двигателями постоянного тока, как потери в пусковом реостате, наличие скользящего контакта в двигателе, частые выходы двигателей из строя в результате перегрузок в переходных режимах.

Естественным является стремление максимально повысить эффективность использования машины. Применительно к электровозу это означает получение максимального тягового усилия. Тяговое усилие электровоза ограничено силой сцепления его ведущих колес с рельсами, т. е. определяется

произведением сцепного веса электровоза (части общего веса, приходящийся на ведущие оси) на коэффициент сцепления. Реально создаваемое тяговое усилие оказывается меньше этой величины. Так, во время разгона электровоза при переключении позиций контроллера возникает толчок тягового усилия. Чтобы при этом не происходил срыв сцепления, среднее тяговое усилие приходится брать меньше максимального. Другой причиной неполного использования сцепного веса является неравномерное распределение тягового усилия между ведущими осями, тогда как сцепной вес, как правило, распределен равномерно, а по условию сцепления ограничено тяговое усилие каждой из осей в отдельности.

В случае превышения тяговым усилием ограничения по сцеплению начинается избыточное проскальзывание колес по поверхности рельсов — разносное боксование. Как было показано в работе [1], склонность тягового привода к боксованию тем выше, чем меньше жесткость его тяговой характеристики. Действительно, при падении нагрузки на привод, вызванном боксованием, скорость колеса возрастает тем больше, чем меньше жесткость

тяговой характеристики, тем самым, усугубляя боксование. Таким образом, для снижения склонности привода к боксованию следует повышать жесткость тяговой характеристики.

Другой причиной для повышения ее жесткости является склонность традиционного привода с двигателем последовательного возбуждения к существенному повышению скорости при снижении нагрузки, что имеет место на некоторых уклонах откаточных выработок. Это создает опасность превышения разрешенной скорости и затрудняет управление локомотивом (необходимость частого перехода в тормозной режим либо задействования механического тормоза).

Таким образом, при конструировании перспективного тягового привода следует использовать жесткие тяговые характеристики. Однако с повышением ее жесткости усугубляется проблема неравномерного распределения тягового усилия между ведущими осями, что заставляет применять специальные меры по равномерному распределению тягового усилия.

Неравномерное распределение тягового усилия вызывается различием параметров приводов, таких как диаметр ведущего колеса, частота вращения двигателя в режиме холостого хода и жесткость механической характеристики. Например, при применении одинаковых двигателей с жесткой механической характеристикой даже небольшое отличие в диаметре ведущих колес приведет к существенному различию развиваемых двигателями моментов.

Непосредственное получение равных тяговых усилий ведущих осей затруднено ввиду сложности контроля тягового усилия отдельной оси, но вполне достаточно получения равных моментов на валах тяговых двигателей, при этом расхождение усилий не превышает единиц процентов.

Для получения равных моментов на валах двигателей возможно применение системы векторного управления по схеме ведущий-ведомый, при этом ведомые приводы содержат только контур управления моментом, который получает задающее воздействие от общего для всех приводов контура управления скоростью, расположенного в системе управления ведущего привода. Такое решение аналогично последовательному включению якорей машин постоянного тока и имеет тот недостаток, что при потере сцепления (боксовании) одной из осей создаваемый ее двигателем момент резко упадет, а стремление регулятора сохранить момент неизменным приведет к резкому

возрастанию частоты вращения двигателя и усугублению боксования.

Описанная ситуация требует разработки специального алгоритма выравнивания тяговых усилий, который бы не реагировал на резкие измерения момента, происходящие при боксовании. Для этого может быть использован тот факт, что причины, вызывающие неравенство тяговых усилий ведущих осей (износ бандажей ведущих колес, уход параметров системы регулирования и двигателя), изменяются во времени весьма медленно.

Был предложен [2] способ выравнивания тяговых усилий, основанный на совмещении тяговых характеристик ведущих осей. Такая характеристика представляет собой механическую характеристику двигателя, приведенную к ободу ведущего колеса. Учитывая, что асинхронный двигатель в системе векторного управления моментом имеет приблизительно линейную механическую характеристику (подобную характеристике двигателя постоянного тока независимого возбуждения), тяговую характеристику ведущей оси можно охарактеризовать двумя числами: скоростью холостого хода и жесткостью. В общем случае все эти параметры различны для каждой из ведущих осей (рис. 1).

Для совпадения тяговых характеристик необходимо и достаточно, чтобы указанные параметры у всех осей были соответственно равны. При этом будет автоматически обеспечено равенство тяговых усилий (моментов) ведущих осей в различных режимах работы привода без необходимости отрабатывать эти изменения в системе управления.

Чтобы обеспечить соответственное равенство параметров тяговых характеристик, требуется индивидуальная коррекция угловой скорости холостого

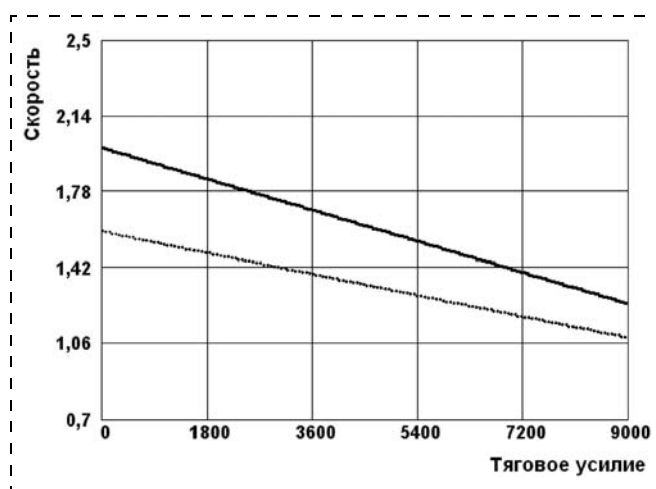


Рис. 1. Пример механических (тяговых) характеристик, различающихся по обоим параметрам

хода и жесткости механической характеристики каждого из двигателей. Такая коррекция может быть осуществлена при использовании индивидуальных систем векторного управления моментом тяговых двигателей. При этом для коррекции скорости холостого хода следует воздействовать на сигнал задания скорости, а для коррекции жесткости — на величину коэффициента усиления пропорционального регулятора скорости.

Особенностью такой коррекции является то, что требуются два отдельных корректирующих воздействия на каждый из приводов. Для выработки таких воздействий может быть использован сигнал о текущем значении момента на валу, который имеется в системе векторного управления. Использовать для этого сигнал о скорости затруднительно, так как ее точное измерение сложно-реализуемо, а влияние на моменты велико. Таким образом, имея только один сигнал обратной связи, требуется выработать два независимых корректирующих воздействия, т. е. определить канал, по которому требуется коррекция (скорость холостого хода, жесткость или оба канала).

Для решения этой задачи возможны различные подходы. Так, в [2] описана система (рис. 2), использующая тот факт, что в режиме холостого хода неравенство моментов, развиваемых двигателями, может быть вызвано только расхождением в скоростях идеального холостого хода и, следовательно, нужно вырабатывать корректирующее воздействие по каналу скорости.

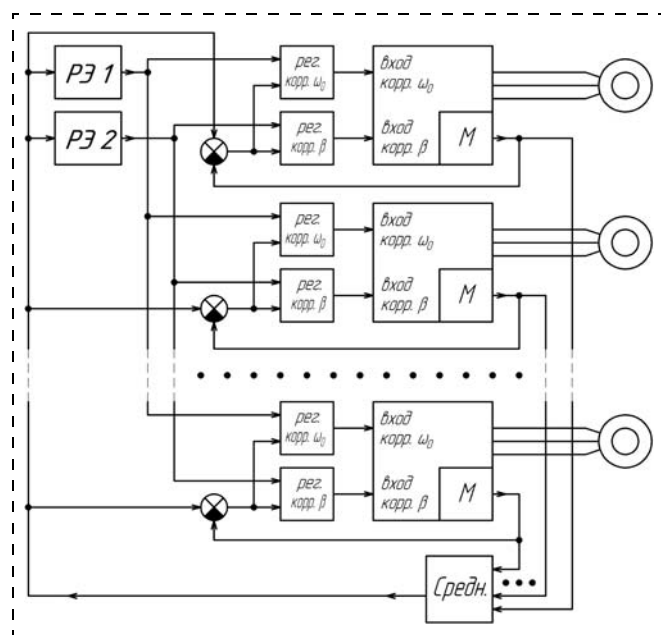


Рис. 2. Функциональная схема системы выравнивания тяговых усилий ведущих осей

Система содержит индивидуальные преобразователи частоты с системами векторного управления для каждой из ведущих осей. Эти системы, помимо прочих, имеют входные сигналы коррекции угловой скорости холостого хода ω_0 (воздействует на заданное значение скорости для данного преобразователя) и коррекции жесткости механической характеристики β (воздействует на коэффициент усиления пропорционального регулятора скорости). Кроме того, системы векторного управления выдают сигнал оценки момента на валу двигателя M . Входные сигналы коррекции создаются регуляторами коррекции "рег. корр. ω_0 " и "рег. корр. β ", на входы которых подается разность между средней оценкой момента двигателей всех осей, полученной в блоке вычисления среднего значения "Средн." и оценкой момента на валу данного двигателя. Регуляторы являются интегральными и имеют входы блокировки работы, при которой вход регулятора размыкается и выходной сигнал остается неизменным. Сигналы на входы блокировки регуляторов подаются с релейных элементов РЭ 1 и РЭ 2, на входы которых подан сигнал среднего значения оценки моментов на валах двигателей.

Схема реализует вышеупомянутый принцип обнаружения работы привода в режиме, близком к холостому ходу. При этом релейный элемент РЭ 1 разрешает работу регуляторов коррекции по угловой скорости холостого хода ω_0 . С возрастанием нагрузки привода элемент РЭ 1 блокирует работу регуляторов коррекции по угловой скорости и на их выходах сигналы поддерживаются неизменными. При дальнейшем увеличении нагрузки привода релейный элемент РЭ 2 разрешает работу регуляторов коррекции по жесткости "рег. корр. β " для устранения расхождения в жесткостях тяговых характеристик (до этого заблокированные корректирующие устройства сохраняли ранее достигнутое значение корректирующего воздействия).

Такая система показала себя работоспособной, но ее недостаток состоит в том, что для определения требуемого воздействия необходимо наличие достаточно продолжительных режимов работы, близких к холостому ходу. В то же время наличие таких режимов определяется особенностью условий эксплуатации (профилем откаточных путей) и не гарантировано. В связи с этим представляет интерес разработка алгоритма выработки корректирующих воздействий, не требующего режимов холостого хода. Построить такой алгоритм возможно исходя из предположения о весьма медлен-

ном (десять минут и более) изменении параметров тяговых приводов по сравнению с изменением режимов тяги. В результате требуемый канал, знак и величина корректирующего воздействия могут быть вычислены на основе сбора данных о моментах, создаваемых отдельными двигателями в различных режимах нагрузки тягового привода всего локомотива. Этот режим нагрузки определяется как сумма моментов, создаваемых каждым из тяговых двигателей.

Рассмотрим возможные варианты анализа данных о моментах двигателей при разных значениях нагрузки. На рис. 3 показаны две линейные тяговые характеристики (их жесткость для наглядности существенно снижена). Там же штриховой линией изображена "средняя" тяговая характеристика, которая получена суммированием моментов двигателей и последующим приведением суммарного момента к единому масштабу с моментами отдельных двигателей (деления на количество двигателей). На данном примере имеется расхождение тяговых характеристик только в жесткости, в результате, разность момента, создаваемого двигателем, и среднего момента оказывается пропорциональной среднему моменту и на основании этой разницы может быть вычислено корректирующее воздействие на жесткость каждого из двигателей. Пропорциональность разности среднему моменту проиллюстрирована там же геометрическим построением. Прямоугольные треугольники с вершиной на оси скоростей и противолежащим катетом, расположенным в точке данного момента нагрузки и равным разности среднего момента и момента одного из двигателей при этом моменте нагрузки, оказываются подобными.

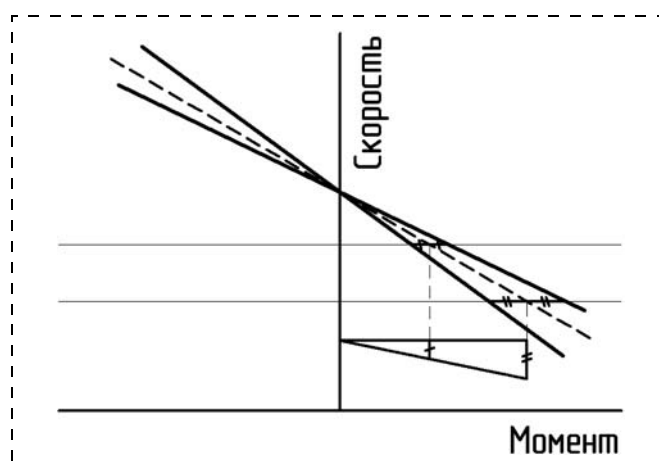


Рис. 3. Пример механических (тяговых) характеристик, отличающихся только жесткостью (одинаковым числом штрихов обозначены одинаковые отрезки)

На рис. 4 показан другой крайний случай расхождения тяговых характеристик только по скоростям холостого хода. Как видно на графиках, в данном случае разность момента двигателя и среднего момента остается неизменной при изменении общей нагрузки привода и, следовательно, требуется введение корректирующего воздействия по скорости.

В общем же случае имеется различие как скорости холостого хода, так и жесткости тяговой характеристики. При этом для каждого значения суммарного момента существует некоторое значение разности момента данного двигателя и суммарного момента:

$$\Delta_{i,j} = M_{i,j} - M_{Mj},$$

где $\Delta_{i,j}$ — разность моментов для двигателя i в режиме j ; $M_{i,j}$ — момент двигателя i в режиме j ;

$$M_{Mj} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n M_{i,j} — \text{среднее значение момента в режиме } j; n — \text{число тяговых двигателей.}$$

Данная разность представляет собой линейную функцию от среднего значения момента:

$$\Delta_{i,j}(M_{Mj}) = k_i M_{Mj} + b_i. \quad (1)$$

Эта функция имеет параметры: k_i , который определяет составляющую разности, обусловленную расхождением жесткостей тяговой характеристики и средней тяговой характеристики, и b_i , который определяет составляющую, обусловленную расхождением в скоростях холостого хода.

Для определения требуемых корректирующих воздействий требуется отыскать указанные пара-

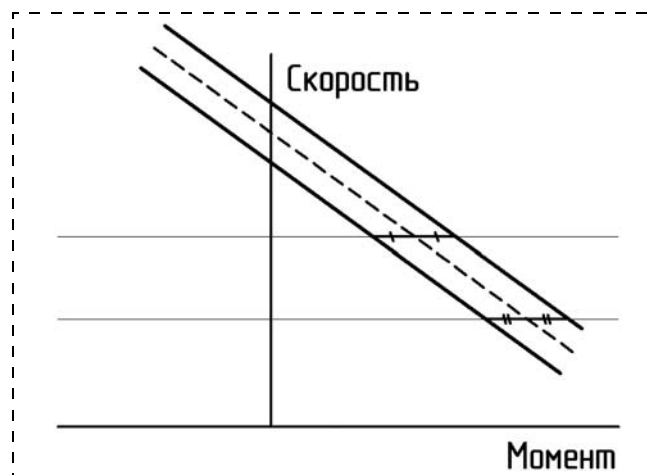


Рис. 4. Пример механических (тяговых) характеристик, отличающихся только скоростью холостого хода (одинаковым числом штрихов обозначены одинаковые отрезки, в данном случае отрезки с одним и двумя штрихами также равны)

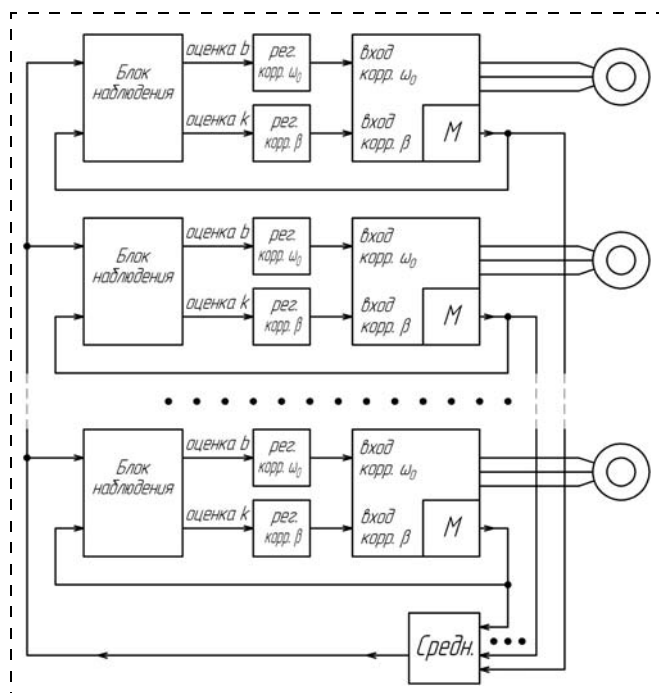


Рис. 5. Функциональная схема системы выравнивания тяговых усилий ведущих осей с наблюдением параметров тяговых характеристик

метры. Они могут быть найдены на основе данных о моментах двигателей как минимум в двух различных режимах работы привода. Для таких режимов получаем систему линейных уравнений, которая может быть разрешена относительно k_i и b_i :

$$\begin{cases} \Delta_{i1} = k_i M_{M1} + b_i; \\ \Delta_{i2} = k_i M_{M2} + b_i. \end{cases} \quad (2)$$

На основе описанного подхода построена система автоматической коррекции тяговых характеристик, функциональная схема которой приведена на рис. 5. Как и в ранее приведенной на рис. 2, в ней имеются индивидуальные системы векторного управления со входами коррекции по угловой скорости ω_0 и по жесткости β . Сигналы на эти входы подаются с выходов регуляторов корректи-

рующего воздействия "рег. корр. ω_0 " и "рег. корр. β ". Входные сигналы на регуляторы подаются от блоков наблюдения, которые осуществляют оценку параметра b , определяющего расхождение в скоростях холостого хода и параметра k , определяющего расхождение в жесткостях (см. формулу (1)). Оценка выполняется на основе решения системы уравнений (2). Для выполнения оценки на вход блока наблюдения подаются сигналы оценки среднего момента всех двигателей M_{Mj} с выхода блока вычисления среднего значения "Средн." и сигналы оценки момента данного двигателя M . По оцененным параметрам b и k регуляторы корректирующих воздействий формируют требуемое воздействие на тяговую характеристику данной оси, стремясь свести к нулю оценки b и k , а следовательно, и расхождения тяговой характеристики данного двигателя и "средней" тяговой характеристики.

Таким образом, предложен способ определения требующего коррекции параметра тяговой характеристики ведущей оси шахтного электровоза. На основе данного способа может быть построена система автоматического выравнивания тяговых усилий ведущих осей, для которой не требуются режимы работы привода, близкие к холостому ходу. Для оценки параметров тяговых характеристик требуются минимум два режима, отличающиеся по величине среднего момента. Такими режимами могут быть, например, режимы движения с груженым и порожним составом.

Список литературы

1. **Минов Д. К.** Повышение тяговых свойств электровозов и тепловозов с электропередачей. М.: Транспорт, 1985. 267 с.
2. **Волков Д. В., Сташинов Ю. П.** Выравнивание нагрузок двигателей асинхронного тягового привода шахтного электровоза // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. Вып. 3: в 5-ти ч. Тула: Изд-во ТулГУ, 2010. Ч. 3. С. 10—15.

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

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

Сдано в набор 15.03.2013. Подписано в печать 22.04.2013. Формат 60 × 88 1/8. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 5,88. Заказ GO413. 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 "Авансес солюшнз". Отпечатано в ООО "Авансес солюшнз". 105120, г. Москва, ул. Нижняя Сыромятническая, д. 5/7, стр. 2, офис 2.