

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.
ХОРЕШОК А.А.
ЮНГМЕЙСТЕР Д.А.

Редакция:

БЕЛЯНКИНА 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

ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА. АВТОМАТИЗАЦИЯ

- Седунин А. М., Николаев А. В., Седнев Д. Ю.** Электропривод главной вентиляторной установки нефтешахты, регулируемый с учетом действия общешахтной естественной тяги 2
- Костарев И. А., Сапунков М. Л., Худяков А. А.** Исследование и оценка возможности применения защиты от однофазных замыканий, основанной на контроле пульсирующей мощности, в компенсированных сетях горных предприятий 8
- Сапунков М. Л., Худяков А. А., Костарев И. А.** Об эффективности защиты распределительных сетей 6—35 кВ от однофазных замыканий, основанной на контроле пульсирующей мощности, при перемежающейся дуге 15
- Трифанов М. Г., Барашков Д. В.** Ограничитель скорости ОС-5 18

ШАХТНЫЕ ПОДЪЕМНЫЕ УСТАНОВКИ

- Винокуров В. Е., Князев А. А.** Снижение массы магнитной системы канатного дефектоскопа на основе численного моделирования 22
- Трифанов Г. Д., Стрелков М. А.** Оценка влияния предохранительного торможения на долговечность стального каната шахтной подъемной установки 26
- Кошкин А. П., Озорнин М. С., Трифанов Г. Д.** Роль технологических регламентов в практике проектирования и эксплуатации шахтных подъемных установок 33
- Трифанов Г. Д., Князев А. А., Трифанов М. Г.** Аппаратура контроля натяжения канатов шахтной подъемной установки "Тулым" 39

ПОДЗЕМНЫЕ РАБОТЫ

- Габов В. В., Шишлянников Д. И., Чекмасов Н. В.** Повышение эффективности отделения калийной руды от массива с использованием шахматной симметричной перекрестной схемы резания 41

ИНФОРМАЦИЯ

- Указатель** статей, опубликованных в журнале в 2012 г. 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.

УДК 622.663.3

А. М. Седунин, канд. техн. наук, доц., А. В. Николаев, ст. преп., Д. Ю. Седнев, асп., ПНИПУ, г. Пермь

E-mail: eservice@eservice.perm.ru, nikolaev0811@mail.ru, danil.sednev@mail.ru

Электропривод главной вентиляторной установки нефтешахты, регулируемый с учетом действия общешахтной естественной тяги

Рассмотрена возможность применения электропривода главной вентиляторной установки (ГВУ), выполненного на базе асинхронно-вентильного каскада. Применение подобного рода регулирования позволяет управлять работой ГВУ с учетом действия общешахтной естественной тяги, в результате чего снижается затрачиваемая на ее работу электроэнергия.

Ключевые слова: асинхронно-вентильный каскад, общешахтная естественная тяга, главная вентиляторная установка, регулируемый привод, нефтешахта.

A.M. Sedunin, A. V. Nikolaev, D. Yu. Sednev

The Electric Drive the Main Ventilation Installation on the Oil Mine, Regulated Taking into Account Action of General Mine of Natural Draught

The articles deals with possibility of application of a drive of management of the main ventilation installation (MVI) on the basis of asynchronous-gate cascade. This sort of application of regulation allows to operate MVI work taking into account action of general mine of natural draught therefore decrease in the electric power spent for its work is observed.

Keywords: the asynchronous-gate cascade, general mine of natural draught, main ventilation installation, adjustable drive, the oil mine.

Введение

При добыче нефти подземным способом для обеспечения аэрогазодинамической безопасности и санитарно-гигиенических норм согласно [1] необходимо проветривание подземной части нефтешахты. При поступлении в воздухоподающие стволы воздух под действием возрастающего барометрического давления нагревается, а его средняя температура будет зависеть от температуры поступающего воздуха. Исходящая струя воздуха за счет разрежения создаваемого ГВУ в вентиляционном стволе, наоборот, охлаждается. По закону конвективного теплообмена теплый воздух стремится подняться вверх, а более холодный — опуститься вниз. В результате этого между стволами нефтешахты возникает перепад гидростатических давлений, который определяет значение естественной тяги (тепловой депрессии):

$$h_e = g(\rho_{cp,i} - \rho_{cp,j})H_{c.v}, \quad (1)$$

где g — ускорение свободного падения, m/c^2 ; $\rho_{cp,i}$ и $\rho_{cp,j}$ — средняя плотность воздуха соответственно в i -й (воздухоподающей) и j -й (воздуховыдающей) сообщающейся выработке (стволе), kg/m^3 ; $H_{c.v}$ — вертикальная длина (для стволов — глубина) сообщающихся выработок, m .

Как видно из формулы (1), если средняя плотность воздуха в i -й выработке $\rho_{cp,i}$ будет ниже средней плотности воздуха в j -й выработке $\rho_{cp,j}$, естественная тяга примет отрицательное значение, т.е. она будет препятствовать требуемому направлению движения воздуха. В данном случае мы имеем отрицательную естественную тягу. Если средняя плотность воздуха $\rho_{cp,i}$ будет выше $\rho_{cp,j}$, то естественная тяга будет способствовать проветриванию. В этом случае действует положительная естественная тяга.

Действие общешахтной естественной тяги будет сказываться на работе ГВУ, увеличивая (при действии положительной естественной тяги), либо

снижая (при действии отрицательной естественной тяги) общий объем воздуха, поступающий в нефтешахту. Снижение объемов воздуха, подаваемого в нефтешахту (за счет действия отрицательной общешахтной естественной тяги), приведет к тому, что режим работы ГВУ необходимо будет переводить в область более высоких давлений. При действии положительной естественной тяги, наоборот, в нефтешахту будет подаваться больший объем воздуха, т.е. режим работы ГВУ можно перевести в область более низких давлений [2].

Регулирование режима работы ГВУ с учетом изменяющейся положительной общешахтной естественной тяги позволит снизить потребляемую ею (ГВУ) электроэнергию, а также обеспечить подачу необходимого объема воздуха при действии отрицательной общешахтной естественной тяги.

На нефтешахтах применяется уникальная система разработки, при которой нефть добывается термошахтным способом [3]. В нефтяной пласт закачивается разогревающий его пар, в результате чего происходит снижение вязкости нефти. Нефть самоизливом от добывающих скважин, находящихся в уклоне, поступает к вентиляционному стволу. Вследствие этого температура выдаваемого воздуха достигает порядка $36\text{ }^{\circ}\text{C}$. Поступающий воздух имеет меньшее значение температуры, что является причиной возникновения между стволами нефтешахты тепловых депрессий h_{ei} (рис. 1). В связи с этим тепловые депрессии h_{e2} и h_{e3} имеют

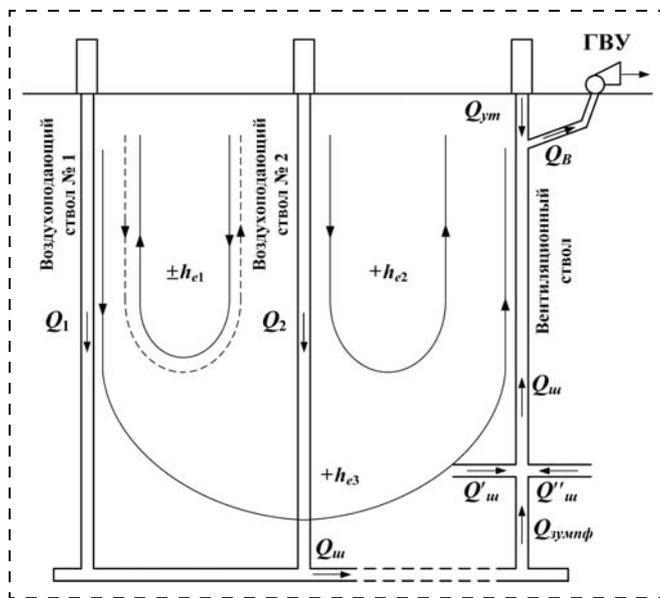


Рис. 1. Упрощенная схема проветривания нефтешахты: h_{e1} , h_{e2} и h_{e3} — тепловые депрессии, возникающие между стволами; Q_1 , Q_2 , $Q_{ш}$, $Q_{ут}$ — объемы воздуха, проходящие соответственно по воздухоподающим Q_1 , Q_2 и вентиляционному $Q_{ш}$ стволам, теряемые на утечки $Q_{ут}$; $Q_{в}$ — производительность вентилятора

положительное значение, а h_{e1} зависит от средней плотности воздуха в воздухоподающих стволах (в холодное время — от работы калориферных установок) и от разности высотных отметок устьев стволов. Изменение абсолютной величины общешахтной естественной тяги будет зависеть от климатических параметров наружного воздуха.

Влияние общешахтной естественной тяги на процесс проветривания и регулирование режима работы ГВУ с учетом ее действия

Согласно исследованиям, проведенным в работе [4], для условий нефтешахты № 2 (г. Ухта, Республика Коми) между ее стволами будет действовать общешахтная естественная тяга, составляющая порядка 20 % от давления, развиваемого ГВУ. Расчетное значение общешахтной естественной тяги было получено для среднемесячных климатических параметров региона. Изменение величины, а иногда и направленности общешахтной естественной тяги может возникать даже в течение суток. В связи с этим регулирование режимов работы ГВУ с учетом постоянно изменяющихся климатических параметров (изменяется общешахтная естественная тяга) позволит избежать снижения объема воздуха, подаваемого в нефтешахту при отрицательной общешахтной естественной тяге, и уменьшить затраты электроэнергии за счет снижения производительности ГВУ при действии положительной общешахтной естественной тяги. Для изменения режима работы ГВУ может быть использован регулируемый электропривод, управляющий работой двигателя вентилятора.

В настоящее время на рассматриваемой нефтешахте № 2 регулирование производительности вентилятора ГВУ осуществляется путем изменения угла установки лопаток осевого направляющего аппарата (ОНА). Подобный способ регулирования имеет недостатки, пояснить которые можно на примере, приведенном на рис. 2.

При отсутствии общешахтной естественной тяги кривая сводной аэродинамической характеристики нефтешахты занимает некое положение I (см. рис. 2) [5]. При этом ГВУ должно обеспечивать подачу воздуха Q_1 при развиваемом давлении h_1 . Режим работы ГВУ в этом случае выбирается таким, чтобы рабочая точка (точка пересечения кривой характеристики нефтешахты и характеристики вентилятора) попала в область максимального КПД.

Изменение абсолютной величины общешахтной естественной тяги приведет к изменению по-

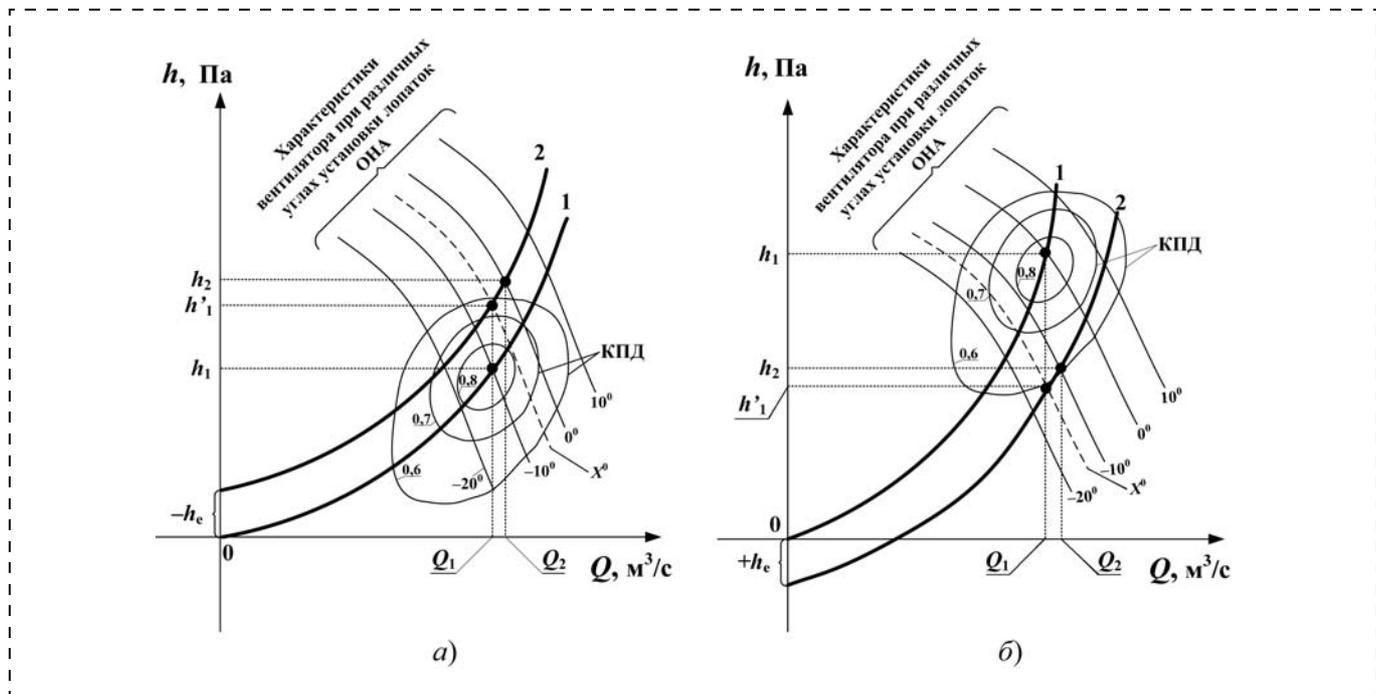


Рис. 2. Изменение положения кривой сводной аэродинамической характеристики нефтешахты на примере применения центробежного вентилятора на ГВУ:
 а — при действии отрицательной общешахтной естественной тяги; б — при действии положительной общешахтной естественной тяги

ложения аэродинамической кривой нефтешахты в некоторое положение 2 (при отрицательной общешахтной естественной тяге — см. рис. 2, а; при положительной общешахтной естественной тяге — см. рис. 2, б).

Перевод вентилятора на другую характеристику приведет к изменению производительности вентилятора: при действии отрицательной общешахтной естественной тяги $-h_e$ будет установлен угол осевого направляющего аппарата 0° (см. рис. 2, а); при действии положительной общешахтной естественной тяге $+h_e$ — минус 10° (см. рис. 2, б). При подобного рода регулировании в нефтешахту будет подаваться объем воздуха Q_2 больше требуемого Q_1 , а развиваемое ГВУ давление изменится до значения h_2 , что влечет за собой дополнительные энергозатраты. Избежать дополнительных энергозатрат можно, если отрегулировать угол установки лопаток ОНА до некоторого положения X° . Однако с точки зрения исполнения это достаточно сложно, так как общешахтная естественная тяга меняется постоянно и довольно в широких пределах, что может вызывать ошибку при корректировке угла установки лопаток осевого направляющего аппарата. Кроме того, перевод вентилятора на другую рабочую характеристику неизбежно повлечет за собой снижение КПД (рабочая точка переместится в область (h'_1, Q_1)), в связи с чем ГВУ

будет потреблять большее количество электроэнергии.

Изменения производительности ГВУ и ее КПД можно добиться путем регулирования скорости вращения рабочего колеса вентилятора. Для этой цели может использоваться регулируемый электропривод, в процессе работы которого за счет обратной связи по скорости и току будет поддерживаться требуемая производительность. При этом система управления привода будет регулироваться таким образом, чтобы вентилятор работал с максимальным КПД.

В связи с этим для повышения энергоэффективности работы ГВУ необходимо изменить систему управления ее производительностью, для чего следует регулировать скорость вращения вала вентилятора. Для этой цели может использоваться вариант управления системой электропривода ГВУ на базе асинхронно-вентильного каскада (АВК), широко применяемого в нефтяной промышленности, который позволяет плавно регулировать скорость вращения вентилятора с высоким КПД [6].

АВК с системой управления для ГВУ

Структурная схема системы управления электроприводом АВК приведена на рис. 3. Постоянная времени ($\mu = 0,02$) принимается равной средне-

статистическому запаздыванию и имеет минимальное значение при трехфазной мостовой схеме соединения.

Принципиально система состоит из двух контуров управления: тока и скорости. Исключение статической ошибки при влиянии возмущающих факторов достигается за счет применения пропорционально-интегрального регулятора скорости. При этом любое изменение нагрузки на валу вентилятора будет обрабатываться системой с нулевой ошибкой.

Также не требуется формировать силовую схему АВК (трансформатор, дроссель, инвертор) на полную мощность двигателя. Мощность каскада при-

нимается в зависимости от глубины регулирования и составляет не более половины номинальной мощности электродвигателя. Разгон вентиляторной установки до минимальной скорости, необходимой для запуска АВК, будет осуществляться посредством роторных сопротивлений. Число ступеней определяется требованиями ограничения осевых нагрузок.

Построение системы электропривода проводилось в программе Matlab 10 в программном пакете Simulink.

Моделирование динамических процессов в системе электропривода АВК с двигателем АКН-2-17-57-10У4 и вентилятором ВЦД-31,5М2

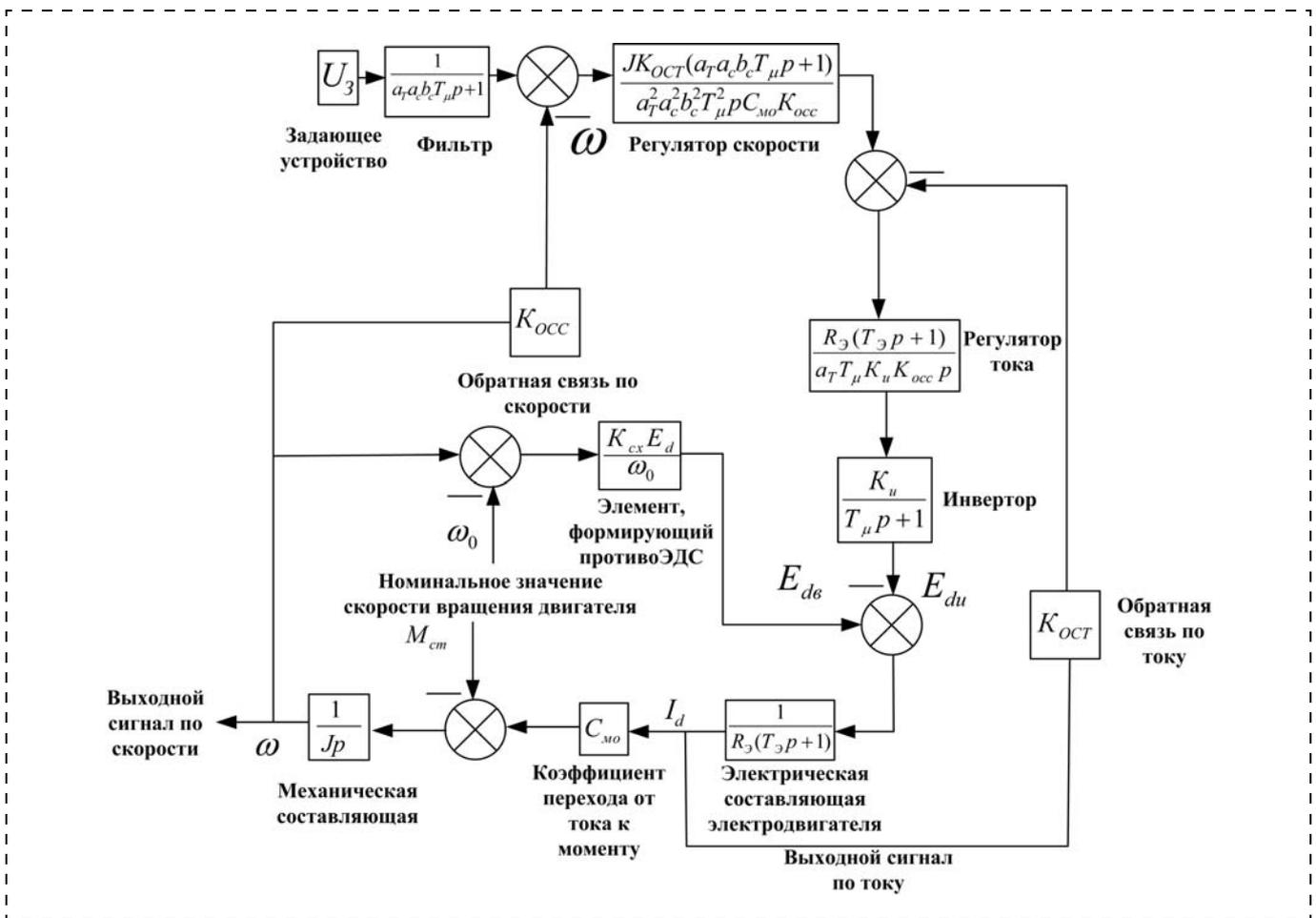


Рис. 3. Структурная схема управления работой ГВУ на базе привода АВК:
 $a_c = 2, b_c = 4, a_T = 2$ — демпфирующие коэффициенты; K_{OCC} и K_{OCT} — передаточный коэффициент обратной связи по скорости и по току; $K_{ин}$ — передаточный коэффициент тиристорного преобразователя; T_μ — некомпенсируемая постоянная времени, с; T_Σ — эквивалентная компенсируемая постоянная времени, учитывающая индуктивность двигателя и индуктивность цепи выпрямленного тока, с; R_Σ — эквивалентное сопротивление цепи ротора, Ом; E_d — выпрямленное напряжение ротора, В; K_{cx} — коэффициент схемы; ω — скорость вращения двигателя, рад/с; p — комплексная переменная (элементы схемы описаны при помощи преобразования Лапласа); U_3 — напряжение задания; J — момент инерции системы, равный сумме момента инерций вентилятора ВЦД-31,5М2 и электродвигателя; ω_0 — номинальная скорость вращения электродвигателя, рад/с; $M_{ст}$ — статический момент электродвигателя, равный развиваемому моменту электродвигателя при номинальной скорости вращения, Н · м; $C_{мо}$ — коэффициент отношения момента двигателя к выпрямленному току; E_{dv} — электродвижущая сила (ЭДС) ротора, равная максимально выпрямленному напряжению ротора, В; E_{di} — ЭДС инвертора, противоположно направленная ЭДС ротора, В

показало удовлетворительный характер процессов по скорости и току (рис. 4). Задающее устройство обеспечивает разгон в течение 10 с.

Место задающего устройства в структурной схеме управления работой ГВУ представлено на рис. 5. Нижний уровень этой схемы представлен датчиками температуры и давления, а также системой датчиков, расположенных на ГВУ и пред-

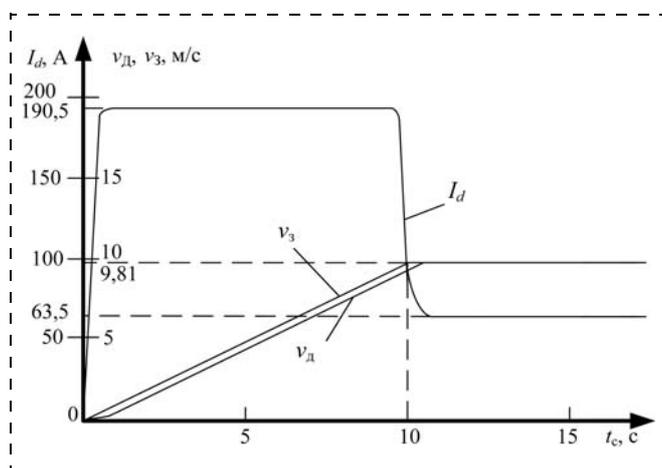


Рис. 4. Динамические процессы в электроприводе АВК вентилятора: $v_з$ — заданная скорость вращения вентилятора; $v_д$ — действительная скорость вращения вентилятора; I_d — выпрямленный ток

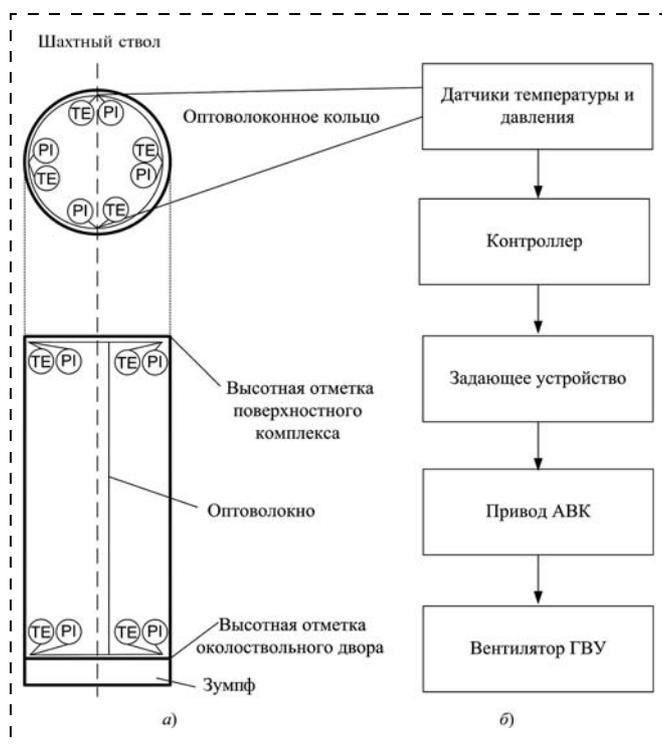


Рис. 5. Функциональная схема работы системы регулирования производительности ГВУ: а — расположение датчиков температуры ТЕ и давления PI в вертикальной выработке; б — структурная схема управления работой ГВУ

назначенных для контроля различных параметров (давление, расход, ток, напряжение и т.д.). Датчики температуры и давления расположены в вертикальных выработках на сопряжениях с другими выработками, сигналы с которых посредством оптоволоконных линий связи передаются на контроллер, расположенный на площадке ГВУ.

Контроллер принимает сигналы, поступающие от датчиков, обрабатывает их, в результате чего определяется величина общешахтной естественной тяги и выдается сигнал на задающее устройство U_3 (см. рис. 3) в системе управления электроприводом ГВУ. Кроме того, в систему управления входит сервер с автоматизированными рабочими местами, предназначенными для мониторинга и изменения параметров в системе вентиляции при нештатных ситуациях. В зависимости от расчетного значения общешахтной естественной тяги задающее устройство вырабатывает сигнал, определяющий требуемую скорость вращения вентилятора ГВУ, которая будет поддерживаться до следующего опроса датчиков и расчета естественной тяги.

В данной работе энергопотребление ГВУ определялось с учетом действия общешахтной естественной тяги, абсолютное значение которой рассчитывалось по формулам [7], для условий весенне-осеннего периода, характеризующимся частыми перепадами температур в области $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ [8] — в период года, когда на нефтешахте согласно [4] будет действовать положительная общешахтная естественная тяга.

При моделировании принимались климатические параметры, взятые в течение суток в регионе г. Ухта [9].

График изменения потребляемой активной мощности в течение суток с учетом действия положительной общешахтной естественной тяги и при отсутствии таковой, соответствующий регулированию работы ГВУ приводом АВК, приведен на рис. 6.

Как видно на графике, в течение суток потребляемая ГВУ мощность изменяется несколько раз. Это связано с тем, что выдаваемый из нефтешахты воздух имеет практически постоянную температуру, а параметры засасываемого (наружного) воздуха изменяются в течение суток. В результате этого изменяется общешахтная естественная тяга, действующая между стволами, а следовательно, и требуемая производительность ГВУ.

Сопоставляя затраты электроэнергии на работу электродвигателя с учетом действия общешахтной

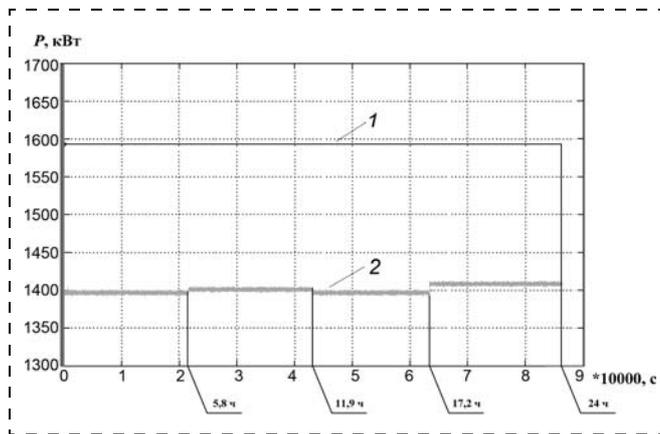


Рис. 6. График изменения потребления активной мощности электроприводом ГВУ в течение суток с нуля часов 23 апреля 2012 г.: 1 — мощность, потребляемая ГВУ без учета действия общешахтной положительной естественной тяги; 2 — мощность, потребляемая ГВУ с учетом действия общешахтной положительной естественной тяги

естественной тяги N_2 и без учета ее действия N_1 в соответствии с данными графиков, представленных на рис. 6, определим экономию электроэнергии в случае применения технологии, представленной в статье:

$$N_1 = Pt = 1590 \cdot 24 = 38\ 160 \text{ кВт} \cdot \text{ч};$$

$$N_2 = P_1 t_1 + P_2 t_2 + P_3 t_3 + P_4 t_4 = 1390 \cdot 5,8 + 1410 \cdot (11,9 - 5,8) + 1390 \cdot (17,2 - 11,9) + 1420 \cdot (24 - 17,2) = 33\ 686 \text{ кВт} \cdot \text{ч};$$

$$\Delta N = N_1 - N_2 = 38\ 160 - 33\ 686 = 4474 \text{ кВт} \cdot \text{ч} (11,7 \%).$$

Заключение

Моделирование динамических процессов работы ГВУ в системе управления привода АВК с учетом действия общешахтной естественной тяги, возникающей между стволами нефтешахты, и по-

следующие расчеты показали преимущество подобного рода управления. Предложенный вариант управления позволит энергоэффективно управлять работой ГВУ. Проведенные расчеты показали, что даже при суточных колебаниях температуры между стволами нефтешахты возникает положительная естественная тяга, а регулирование режима работы ГВУ с учетом ее действия позволит существенно снизить энергопотребление.

Список литературы

1. **Правила безопасности при разработке нефтяных месторождений шахтным способом**, 1986. 250 с.
2. **Мохирев Н. Н., Радько В. В.** Инженерные расчеты вентиляции шахт. Строительство. Реконструкция. Эксплуатация. М.: Недра-Бизнесцентр, 2007. 324 с.
3. **Коноплев Ю. П., Буслаев В. Ф., Ягубов З. Х., Цхадая Н. Д.** Термошахтная разработка нефтяных месторождений / под ред. Н.Д. Цхадаея. М.: Недра-Бизнесцентр, 2006. 288 с.
4. **Седнев Д. Ю., Николаев А. В.** Расчет величины естественной тяги, действующей между стволами нефтешахты № 2 Ярегского месторождения ООО "ЛУКОЙЛ-КОМИ" // Научные исследования и инновации. Пермь, 2011. Т. 5. № 1. С. 150–152.
5. **Керстен И. О.** Аэродинамические испытания шахтных вентиляторных установок: Справочное пособие. М.: Недра, 1986. 196 с.
6. **Онищенко Г. Б., Аксенов М. И., Грехов В. П., Зарицкий М. Н., Куприков А. В., Нитиевская А. В.** Автоматизированный электропривод промышленных установок. М.: РАСХН, 2001. 520 с.
7. **Николаев А. В.** Управление тепловыми депрессиями в системах вентиляции калийных рудников: Дисс. ... канд. техн. наук / Перм. национал. исслед. политех. ун-т. Пермь, 2012. 159 с.
8. **СНиП 23-01-99.** Строительная климатология.
9. **Атмосферное давление.** Статистические данные в г. Ухта. URL: <http://komi-meteo.ru/uhta/years/surface-air-pressure>.

Информация

На заводе "Горловский машиностроитель" (компания "Горные машины") изготовлен и отгружен шахте им. Сташкова ("ДТЭК Павлоградуголь") очистной комбайн УКД 200-400. Новая машина будет добывать уголь в лаве № 5041 на горизонте 300 м из пласта С5 мощностью от 1,05 до 1,10 м. Очистной комбайн для горняков шахты им. Сташкова оснащен усиленной вынесенной системой подачи (ВСПУ) и имеет ширину захвата 0,7 и 0,8 м.

www.maxi-exkavator.ru

Исследование и оценка возможности применения защиты от однофазных замыканий, основанной на контроле пульсирующей мощности, в компенсированных сетях горных предприятий

Предложен новый способ защиты от однофазных замыканий на землю (ОЗЗ) в компенсированных сетях, исследовано влияние степени расстройки реактора, асимметрии собственных проводимостей фаз линий на землю и показателя успокоения сети на приращении пульсирующих мощностей поврежденной и неповрежденной линий в сети с компенсированной нейтралью.

Исследование проведено на основе математического описания процессов при возникновении ОЗЗ в сети с компенсированной нейтралью горного предприятия. Все необходимые расчеты выполнены с использованием аналитических выражений для приращений пульсирующей мощности на линиях сети.

По результатам расчетов построены кривые зависимости относительной величины приращения пульсирующей мощности от степени расстройки реактора и асимметрии собственных проводимостей фаз линий на землю как для поврежденной, так и для неповрежденной линий.

Установлено, что при различных рассматриваемых условиях в распределительных сетях 6—35 кВ обеспечивается достаточная разница между контролируемыми сигналами на поврежденной и неповрежденной линиях, что является условием эффективной работы новой защиты от ОЗЗ в сетях с компенсированной нейтралью горных предприятий.

Ключевые слова: сети среднего напряжения, однофазное замыкание на землю, компенсированная нейтраль, защита от однофазных замыканий.

I. A. Kostarev, M. L. Sapunkov, A. A. Khudyakov

The Estimation and Research into Possibility of Application of Protection Against Ground Faults, Based on Control on Pulsating Power, in Compensated Mine Enterprise Network

In this article new principle of protection against ground fault (GF) was offered in compensated networks, there was research into influence of reactor off-tuning degree, asymmetry of self-admittances of phases of lines and index of network calming on the increases of pulsating powers of a damaged and undamaged line in a network compensated neutral.

Research into influence of fault resistance is conducted on the basis of mathematical description of processes in case GF occurring in the mine enterprise network. All necessary calculations are executed with the use of analytical expressions for the increases of pulsating power on the network lines.

On results calculations the crooked dependences of relative increment of pulsating power value are built on reactor off-tuning degree, asymmetry of self-admittances of phases of lines. The built curves are executed, both for the damaged and for undamaged lines.

It is set, that at the different examined terms in distributive networks 6—35 kV a sufficient difference is provided between the controlled signals on the damaged and undamaged lines. On the basis of it, it is possible to talk about possibility of effective work of the new protecting from GF in networks with compensated neutral of mine enterprises.

Keywords: medium voltage networks, ground faults, compensated neutral, protection against ground faults.

Введение

Для повышения надежности и безопасности систем электроснабжения горных предприятий актуальной является задача разработки и применения высокоэффективной защиты от однофазных замыканий на землю (ОЗЗ) [1].

Защита от ОЗЗ, основанная на новом принципе контроля возникновения замыканий, а именно, на контроле приращений пульсирующей мощности трехфазных линий, при применении на горных предприятиях в сетях 6—35 кВ с изолированной нейтралью будет работать селективно с достаточно

высокой чувствительностью. Это подтверждено результатами аналитических и экспериментальных исследований [2—4]. Высокая чувствительность новой защиты обеспечивается за счет того, что контролируемый для целей защиты сигнал именно на поврежденной линии распределительной сети всегда будет наибольшим, так как он зависит от величины общего для данной сети тока ОЗЗ. На всех неповрежденных линиях сети контролируемые сигналы значительно меньше, чем на поврежденной линии (отличие на порядок и более). А в случае, если на неповрежденных линиях проводимости трех фаз на землю будут симметричны, то приращения мощности на каждой из этих линий будут равны нулю, что соответствует условию абсолютной селективности защиты.

В реальных условиях проводимости фаз на землю линий распределительных сетей, как правило, асимметричны (особенно воздушных линий). Поэтому контролируемые защитой сигналы на таких линиях не будут равны нулю. Однако величина этих сигналов, как следует из результатов расчетов и моделирования [3, 4], даже при отличиях проводимостей по фазам до 20 % будет незначительной (менее 10 % от полезного сигнала на срабатывание защиты).

Таким образом, можно отметить, что в сетях с изолированной нейтралью, а тем более в сетях с резистивным заземлением нейтрали, новая защита от ОЗЗ может успешно функционировать при любой конфигурации сети, т. е. при любом соотношении собственных емкостных токов линий.

В компенсированных же сетях соотношения контролируемых защитой сигналов на поврежденной линии и сигналов на всех неповрежденных линиях будут меньшими, так как в результате компенсации емкостной составляющей остаточный ток замыкания на землю существенно уменьшается. При резонансной настройке компенсации он будет равен активной составляющей полного тока замыкания на землю (без учета высших гармоник). Обусловлен он активными проводимостями фаз на землю всех линий сети и активной проводимостью компенсирующего реактора.

Следовательно, определенный интерес представляет задача исследования возможности применения новой защиты от ОЗЗ в компенсированных сетях. Требуется сделать оценку условий, при которых эта защита будет достаточно чувствительной и селективной. На данном этапе будут рассматриваться устойчивые замыкания.

Математическое описание процессов, характеризующих работу новой защиты в компенсированной сети

В соответствии с задачей исследования, прежде всего, необходимо провести математическое описание процессов, характеризующих работу новой защиты в компенсированной сети. Требуется получить основные аналитические выражения для последующих расчетов и анализа.

Упрощенная расчетная схема замещения компенсированной сети приведена на рис. 1.

В общем случае распределительная сеть может содержать некоторое число N отходящих от секции шин линий. Любая из них может оказаться поврежденной. При этом ОЗЗ может возникнуть в любом месте линии. На рис. 1 такая линия обозначена индексом "α" с проводимостями фаз на землю $Y_{A(3)\alpha}, Y_{B(3)\alpha}, Y_{C(3)\alpha}$. Одна из фаз этой линии замкнута на землю, где протекает ток ОЗЗ $i_3^{(1)}$. Поврежденная линия, участвующая в описании процессов и анализе, обозначена индексом "β" с проводимостями фаз на землю $Y_{A(3)\beta}, Y_{B(3)\beta}, Y_{C(3)\beta}$. Все остальные $N - 2$ неповрежденные линии на схеме учитываются одной сосредоточенной линией с суммарными эквивалентными параметрами $Y_{A(3)\text{ост}}, Y_{B(3)\text{ост}}, Y_{C(3)\text{ост}}$. Для компенсации емкостной составляющей тока ОЗЗ в сети используется реактор с проводимостью Y_p , подключенный к нейтральной точке сети с помощью специального

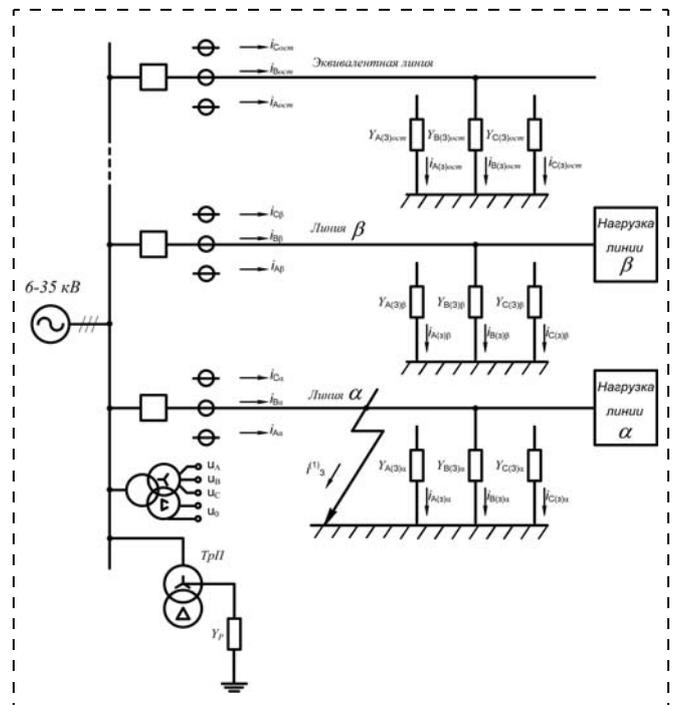


Рис. 1. Схема замещения сети с компенсированной нейтралью

трансформатора присоединения *ТрП*. Согласно алгоритму функционирования новой защиты, на каждой защищаемой линии необходимо контролировать токи трех фаз, а также напряжения в сети. Для этого в схеме указаны датчики тока, установленные в начале каждой линии, и общий на секцию шин измерительный трансформатор напряжения.

Для функционирования новой защиты от ОЗЗ необходимо на каждой линии распределительной сети как в нормальном режиме работы сети, так и в режиме ОЗЗ, определять пульсирующую мощность (переменную составляющую). На *k*-й линии она определяется путем вычислений:

$$p_{\text{П}k}(t) = p_k(t) - P_{\text{СР}k}, \quad (1)$$

где $p_k(t) = u_A(t)i_{Ak}(t) + u_B(t)i_{Bk}(t) + u_C(t)i_{Ck}(t)$ — суммарная мгновенная мощность трех фаз *k*-й линии; $P_{\text{СР}k}$ — среднее значение мощности трех фаз *k*-й линии (активная мощность).

Значение пульсирующей мощности, вычисленное согласно (1) в нормальном режиме, непрерывно запоминается. После возникновения ОЗЗ определяется приращение пульсирующей мощности:

$$\Delta p_{\text{П}k}(t) = p_{\text{П}k}^{(1)}(t) - p_{\text{П}k}(t), \quad (2)$$

где $p_{\text{П}k}^{(1)}$ — значение пульсирующей мощности *k*-й линии в режиме ОЗЗ (верхний индекс (1) свидетельствует об отношении параметра к режиму ОЗЗ).

Именно это приращение мощности, вычисленное как результат операции "вычет" согласно (2), далее контролируется в исполнительном органе защиты.

Расчетные выражения для определения приращений пульсирующей мощности на линиях компенсированной сети могут быть получены путем математического описания процессов, характеризующих работу защиты от ОЗЗ, методом сопряженных комплексных амплитуд [7]. При использовании этого метода выражение для мгновенной мощности трехфазной линии можно записать в следующем виде:

$$\begin{aligned} p(t) = & -\frac{1}{2} [(\dot{U}_A \dot{I}_A^* + \dot{U}_B \dot{I}_B^* + \dot{U}_C \dot{I}_C^*) + \\ & + (\dot{U}_A^* \dot{I}_A + \dot{U}_B^* \dot{I}_B + \dot{U}_C^* \dot{I}_C) - (\dot{U}_A \dot{I}_A + \dot{U}_B \dot{I}_B + \\ & + \dot{U}_C \dot{I}_C) e^{j2\omega t} - (\dot{U}_A^* \dot{I}_A^* + \dot{U}_B^* \dot{I}_B^* + \dot{U}_C^* \dot{I}_C^*) e^{-j2\omega t} = \\ & = \frac{\dot{S} + \dot{S}^*}{2} - \frac{\dot{P}_{\text{П}} e^{j2\omega t} + \dot{P}_{\text{П}}^* e^{-j2\omega t}}{2}, \quad (3) \end{aligned}$$

где \dot{S}, \dot{S}^* — соответственно комплекс и сопряженный комплекс полной мощности линии; $\dot{P}_{\text{П}}, \dot{P}_{\text{П}}^*$ — комплекс и сопряженный комплекс пульсирующей мощности линии.

В выражении (3) составляющая $\frac{\dot{S} + \dot{S}^*}{2}$ является средним значением мощности. Составляющая $\frac{\dot{P}_{\text{П}} e^{j2\omega t} + \dot{P}_{\text{П}}^* e^{-j2\omega t}}{2}$ представляет собой мгновенное значение пульсирующей мощности линии, изменяющейся с двойной частотой.

Комплекс пульсирующей мощности линии равен:

$$\dot{P}_{\text{П}} = \dot{U}_A \dot{I}_A + \dot{U}_B \dot{I}_B + \dot{U}_C \dot{I}_C. \quad (4)$$

Таким образом, если считать нагрузки линий до и сразу после возникновения ОЗЗ одинаковыми и если в (4) подставить значения токов фаз, выраженные через линейные напряжения, проводимости фаз на землю линий и параметры компенсирующего реактора, то искомые расчетные выражения можно получить в следующем виде (при замыкании на землю, например фазы *A*):

для линии α :

$$\begin{aligned} \Delta \dot{P}_{\text{П}\alpha} = & \Delta \dot{U}_{\Phi} (Y_{A(3)\alpha} \dot{U}_{AB} + Y_{B(3)\alpha} \dot{U}_{BC} + \\ & + Y_{C(3)\alpha} \dot{U}_{CA}) + \dot{I}_3^{(1)} \dot{U}_{AB}; \quad (5) \end{aligned}$$

для линии β :

$$\begin{aligned} \Delta \dot{P}_{\text{П}\beta} = & \\ = & \Delta \dot{U}_{\Phi} (Y_{A(3)\beta} \dot{U}_{AB} + Y_{B(3)\beta} \dot{U}_{BC} + Y_{C(3)\beta} \dot{U}_{CA}), \quad (6) \end{aligned}$$

где $\dot{I}_3^{(1)} = (Y_{B(3)\Sigma} + \lambda Y_{B,\text{ТР}}) \dot{U}_{AB} - (Y_{C(3)\Sigma} + \lambda Y_{C,\text{ТР}}) \dot{U}_{CA}$ — комплекс тока однофазного замыкания на землю

сети; $\lambda = \frac{Y_{\text{Р}}}{Y_{\text{Р}} + Y_{\Sigma\text{ТР}}} = \frac{g_{\text{Р}}^2 + b_{\text{Р}}^2 + Y_{\Sigma\text{ТР}}(g_{\text{Р}} - jb_{\text{Р}})}{(Y_{\Sigma\text{ТР}} + g_{\text{Р}})^2 + b_{\text{Р}}^2}$ —

безразмерная комплексная величина, введенная для краткости обозначений; $g_{\text{Р}}, b_{\text{Р}}$ — активная и реактивная проводимости компенсирующего реактора; $Y_{\Sigma} = Y_{A(3)\Sigma} + Y_{B(3)\Sigma} + Y_{C(3)\Sigma}$ — суммарная проводимость фаз всех линий сети на землю; $Y_{\Sigma\text{ТР}} = Y_{A,\text{ТР}} + Y_{B,\text{ТР}} + Y_{C,\text{ТР}}$ — суммарная проводимость всех фаз первичной обмотки *ТрП*; $\Delta \dot{U}_{\Phi}$ — комплекс изменения фазных напряжений отно-

сительно земли, обусловленного возникновением в сети ОЗЗ:

$$\begin{aligned} \Delta \dot{U}_{\Phi} &= \Delta \dot{U}_A + \Delta \dot{U}_B + \Delta \dot{U}_C = \dot{U}_{\Phi}^{(1)} - \dot{U}_{\Phi} = \\ &= \frac{1}{Y_{\Sigma} + \lambda Y_{\Sigma TP}} [(Y_{C(3)\Sigma} + \lambda Y_{C.TP}) \dot{U}_{CA} - \\ &\quad - (Y_{B(3)\Sigma} + \lambda Y_{B.TP}) \dot{U}_{AB}]. \end{aligned} \quad (7)$$

Суммарные проводимости фаз на землю всех N линий распределительной сети можно определить как:

$$\begin{aligned} Y_{A(3)\Sigma} &= \sum_{k=1}^N (g_{Ak} + jb_{Ak}) = \sum_{k=1}^N (g_{Ak} + j\omega C_{Ak}), \\ Y_{B(3)\Sigma} &= \sum_{k=1}^N (g_{Bk} + jb_{Bk}) = \sum_{k=1}^N (g_{Bk} + j\omega C_{Bk}), \\ Y_{C(3)\Sigma} &= \sum_{k=1}^N (g_{Ck} + jb_{Ck}) = \sum_{k=1}^N (g_{Ck} + j\omega C_{Ck}). \end{aligned} \quad (8)$$

Проводимости фаз первичной обмотки трансформатора $Tr\Pi$ определяются:

$$\begin{aligned} Y_{A.TP} &= g_{A.TP} + jb_{A.TP}, \\ Y_{B.TP} &= g_{B.TP} + jb_{B.TP}, \\ Y_{C.TP} &= g_{C.TP} + jb_{C.TP}. \end{aligned} \quad (9)$$

При выполнении расчетов по выражениям (5) и (6) и последующем анализе, учитывались следующие основные факторы и условия, влияющие на успешность функционирования новой защиты в сети с компенсированной нейтралью:

1) режим настройки компенсации, который общепринято оценивать величиной степени настройки компенсации:

$$\nu(\%) = \frac{I_{C\Sigma} - I_P}{I_{C\Sigma}} \cdot 100 \%, \quad (10)$$

где $I_{C\Sigma}$ — емкостная составляющая тока замыкания на землю; I_P — индуктивная составляющая тока компенсирующего реактора.

При выполнении вычислений величина $\nu(\%)$ учитывалась в изменяемом параметре реактора, а именно, в величине индуктивной проводимости реактора:

$$b_P = \frac{1}{\omega C_{\Sigma}} \cdot \frac{100}{100 - \nu}, \quad (11)$$

где $C_{\Sigma} = C_{A\Sigma} + C_{B\Sigma} + C_{C\Sigma}$ — суммарная емкость фаз линии относительно земли.

2) возможная асимметрия собственных проводимостей фаз на землю как поврежденной, так и неповрежденных линий. Асимметрия проводимостей k -й линии в общем случае оценивалась комплексной величиной [4]:

$$\dot{\sigma}_k = \frac{C_{A\Sigma} + a^2 C_{B\Sigma} + a C_{C\Sigma}}{C_{\Sigma}}, \quad (12)$$

где $a = e^{j120^\circ}$ — поворотный множитель; $j = \sqrt{-1}$ — мнимая единица.

Асимметрия проводимостей фаз на землю линии характеризуется двумя величинами: модулем σ_k и аргументом $\varphi_{\sigma k}$. Согласно [4], обычно σ_k имеет значения в от 0 до 0,1, а $\varphi_{\sigma k}$ — от 0 до 360° , что соответствует реальным условиям работы распределительных сетей. Значение $\sigma_k = 0,1$ соответствует случаю, когда емкости фаз линии относительно земли k -й линии отличаются между собой на 20 %.

3) доля собственного емкостного тока k -й линии распределительной сети $I_{ЛСк}$ в общем суммарном емкостном токе замыкания на землю, оцениваемая величиной:

$$m_k = \frac{I_{ЛСк}}{I_{C\Sigma}}. \quad (13)$$

4) суммарная активная проводимость фаз на землю всех линий распределительной сети и активная проводимость компенсирующего реактора, которые совместно влияют на величину активной составляющей остаточного тока замыкания на землю. Активная проводимость линий учитывалась величиной показателя успокоения сети [8]:

$$d = \frac{g_{\Sigma}}{\omega C_{\Sigma}}. \quad (14)$$

Согласно [8], в расчетах величина d принималась в пределах 0,02...0,06.

Активная проводимость реактора g_P зависит от типа применяемого реактора. В общем случае величину g_P в расчетах принимают в пределах 0,01...0,05 b_P .

При оценке успешности функционирования новой защиты в сети с компенсированной нейтралью необходимым условием во всех случаях ОЗЗ была обязательность большего приращения пульсирующей мощности на поврежденной линии $\Delta P_{П\alpha}$, чем приращение мощности на любой k -й неповрежденной линии, т.е. $\Delta P_{П\alpha} > \Delta P_{П\beta}$. В качестве критерия оценки успешности функциониро-

вания защиты использовалась величина кратности приращений мощностей при ОЗЗ:

$$K_{\Delta P} = \frac{\Delta P_{\Pi\alpha\min}}{\Delta P_{\Pi\beta\max k}} \geq 1,25, \quad (15)$$

где $\Delta P_{\Pi\alpha\min}$ — наименьшее значение приращения пульсирующей мощности на поврежденной линии с учетом отрицательного влияния разных факторов; $\Delta P_{\Pi\beta\max k}$ — наибольшее возможное значение приращения пульсирующей мощности k -й неповрежденной линии.

С учетом описанных выше факторов и принятых обозначений выражения (5) и (6) можно записать в виде:

$$\Delta \dot{P}_{\Pi\alpha} = \frac{1}{3} \dot{U}_{AB}^2 (a-1) \left(1 - \frac{m_\alpha \dot{\sigma}_\alpha}{\omega C_\Sigma (d+j) + \lambda Y_{\Sigma TP}} \right), \quad (16)$$

$$\Delta \dot{P}_{\Pi\beta} = \frac{1}{3} \dot{U}_{AB}^2 (a-1) m_\beta \dot{\sigma}_\beta \frac{\omega C_\Sigma (d+j)}{\omega C_\Sigma (d+j) + \lambda Y_{\Sigma TP}}. \quad (17)$$

Исследование и оценка возможности применения новой защиты в компенсированных сетях

Для оценки возможности успешной работы новой защиты в сети с компенсированной нейтралью необходимо определить значения $\Delta P_{\Pi\alpha\min}$ и $\Delta P_{\Pi\beta\max k}$ в зависимости, прежде всего, от двух основных факторов, а именно, степени расстройки компенсации и асимметрии проводимостей фаз на землю линий. Для этого целесообразно рассматривать величину $\Delta P_{\Pi}^* = \Delta P_{\Pi} / \Delta P_{\Pi.БАЗ}$, т.е. от-

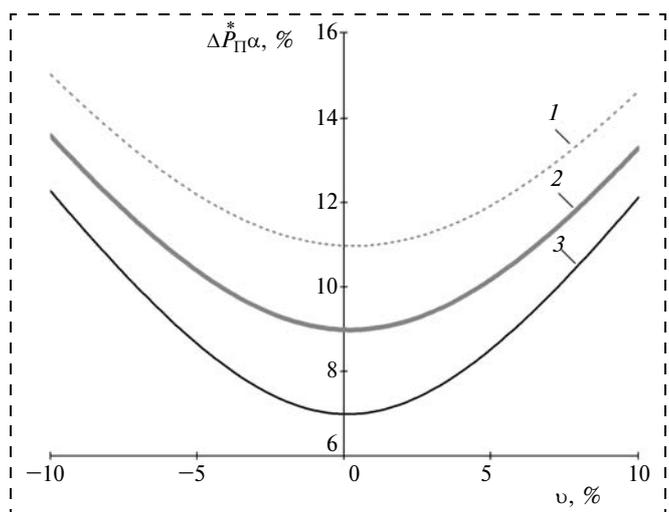


Рис. 2. Зависимость $\Delta P_{\Pi\alpha}^*$ от υ (%) при симметричной сети ($\sigma_{k\alpha} = 0$):
1 — $d = 0,06$; 2 — $d = 0,04$; 3 — $d = 0,02$

ношение модулей комплекса приращения пульсирующей мощности поврежденной (а также и неповрежденной) линий (P_{Π}) к величине приращения пульсирующей мощности на поврежденной линии в симметричной сети с изолированной нейтралью ($\Delta P_{\Pi.БАЗ}$). Путем варьирования величинами υ , σ_k и $\varphi_{\sigma k}$ были проведены расчеты по выражениям (16) и (17). При этом задавались величины: $d = 4\%$, $g_p = 0,05b_p$, $m_\alpha = m_\beta = 0,2$. По результатам расчетов были вычислены значения ΔP_{Π}^* и построены кривые зависимостей ΔP_{Π}^* от двух основных факторов и условий:

- 1) от степени расстройки компенсации υ (%):
— для поврежденной линии (рис. 2 и 3).

Согласно рис. 2 минимальные значения $\Delta P_{\Pi\alpha}^*$ составляют 7, 9, 11 % при резонансной настройке компенсирующего реактора в зависимости от показателя успокоения d , равного 0,02, 0,04 и 0,06 соответственно. Таким образом, уменьшение величины d на 0,01 вызывает уменьшение $P_{\Pi\alpha}^*$ на 1 %.

Рис. 3 характеризует зависимость $\Delta P_{\Pi\alpha}^*$ от степени расстройки компенсации при различной степени аргумента асимметрии линии. Необходимо учитывать, что в действительности $\varphi_{\sigma\alpha}$ является случайной величиной, так как зависит от многих факторов. Поэтому наибольший интерес представляют максимальные изменения контролируемого сигнала. Из анализа рис. 3 следует, что при $\varphi_{\sigma\alpha} = 94^\circ$ и $\varphi_{\sigma\alpha} = 274^\circ$ и при резонансной настройке ($\upsilon = 0$) компенсирующего реактора сигнал на поврежденной линии будет наименьшим, так как приращение пульсирующей мощности на этой

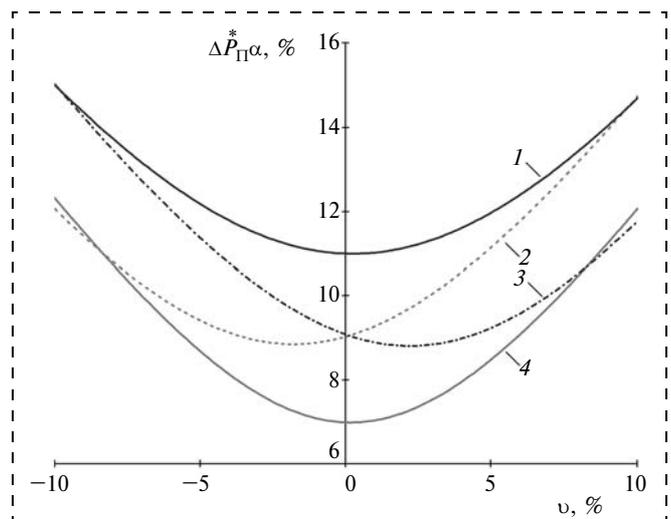


Рис. 3. Зависимость $\Delta P_{\Pi\alpha}^*$ от υ (%) при $\sigma_{k\alpha} = 0,1$:
1 — $\varphi_{\sigma\alpha} = 274^\circ$; 2 — $\varphi_{\sigma\alpha} = 190^\circ$; 3 — $\varphi_{\sigma\alpha} = 0^\circ$; 4 — $\varphi_{\sigma\alpha} = 94^\circ$

линии прямо пропорционально току ОЗЗ. Изменение величины ν от нуля в области положительных и отрицательных значений приводит к увеличению полезного сигнала. Установлено, что при $\sigma_{k\alpha} = 0,1$, $\varphi_{\sigma\alpha} = 94^\circ$ варьирование величиной ν (%) от 0 до ± 5 % вызывает изменение $\Delta P_{\Pi\alpha}^*$ от 7 до $\sim 8,6$ %.

— для неповрежденной линии.

Установлено, что приращение пульсирующей мощности на неповрежденной линии не зависит от степени расстройки компенсирующего реактора.

2) от асимметрии проводимостей фаз на землю линий:

— для поврежденной линии (рис. 4).

Из анализа рис. 4 следует, что σ_α может как увеличивать полезный сигнал, так и уменьшать его величину. Установлено, что при $\nu = 0$ и ранее приведенных значениях $d = 4$ %, $g_p = 0,05b_p$ и $m_\alpha = m_\beta = 0,2$ контролируемый защитой сигнал будет наименьшим при $\varphi_{\sigma\alpha} = 94^\circ$, $\sigma_{k\alpha} = 0,1$. В режиме резонансной настройки компенсирующего реактора ($\nu = 0$) при $\varphi_{\sigma\alpha} = 274^\circ$, $\sigma_{k\alpha} = 0,1$ сигнал будет наибольшим. При $\nu \neq 0$ минимум сдвигается влево вверх или вправо вверх в зависимости от величины степени расстройки. Установлено, что максимально σ_α может увеличивать приращение пульсирующей мощности до 11 %, уменьшать до 7 % при резонансной настройке реактора.

— для неповрежденной линии (рис. 5).

По результатам проведенных исследований установлено, что приращение пульсирующей мощности на неповрежденной линии зависит только от модуля $\sigma_{k\beta}$ (не зависит от $\varphi_{\sigma\beta}$ и d). Из рис. 5 следует, что значение сигнала на данной линии прямо пропорционально величине $\sigma_{k\beta}$. Варьирование модулем $\sigma_{k\beta}$ от 0 до 0,1 приводит к изменению $\Delta P_{\Pi\beta}^*$ от 0 до 2 %.

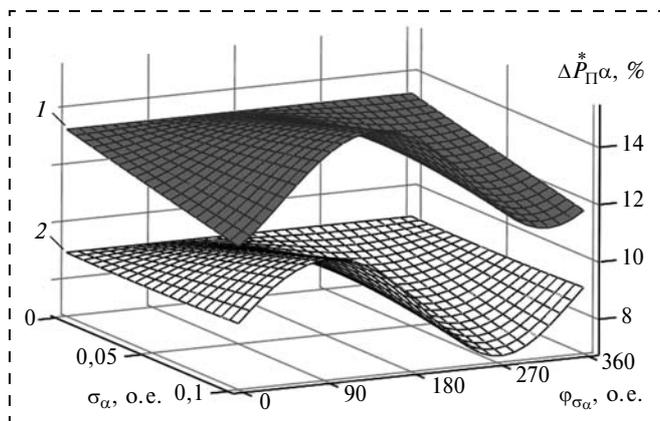


Рис. 4. Зависимости $\Delta P_{\Pi\alpha}^*$ от σ_α и $\varphi_{\sigma\alpha}$:

1 — $\nu = 10$ %; 2 — $\nu = 0$ %

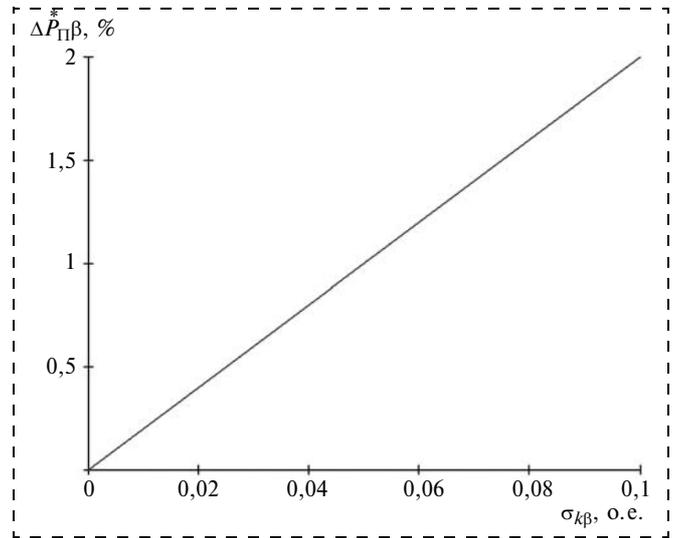


Рис. 5. Зависимость $\Delta P_{\Pi\beta}^*$ от $\sigma_{k\beta}$

На основании анализа полученных результатов изменения величины ΔP_{Π}^* от основных факторов (см. рис. 2—4), следует, что минимум сигнала на поврежденной и максимум на неповрежденной линиях будет при $\nu = 0$ %, $\sigma_{k\alpha} = 0,1$, $\sigma_{k\beta} = 0,1$, $\varphi_{\sigma\alpha} = 94^\circ$. При данных параметрах $\Delta P_{\Pi\alpha\min}$ равно соответственно 5, 7, 9 % и $\Delta P_{\Pi\beta\max} = 2$ % при d , равному 0,02, 0,04 и 0,06 соответственно. Тогда, согласно принятому условию (15), этим значениям соответствует $K_{\Delta P} = 2,5; 3,5; 4,5$. Это означает, что новая защита будет селективно определять поврежденную линию в сетях с компенсированной нейтралью даже при наиболее неблагоприятных условиях и факторах.

Заключение

На основании проведенных исследований условий функционирования новой защиты установлено следующее.

1. Характер влияния степени расстройки компенсации зависит от показателя асимметрии. Величина степени расстройки не влияет на сигнал на неповрежденной линии. Изменяя степень расстройки в пределах норм (± 5 %), отношение минимального значения на поврежденной линии к максимальному значению на неповрежденной линии можно увеличить на 23 %.

2. Величина показателя успокоения сети влияет только на сигнал на поврежденной линии.

3. Асимметрия собственных проводимостей линий на землю может как увеличивать сигнал на поврежденной линии, так и уменьшать его (на неповрежденной только увеличивать). При варьировании данным параметром отношение мини-

мального значения на поврежденной линии к максимальному значению на неповрежденной линии может изменяться от 3,5 до бесконечности.

При различных условиях в распределительных сетях 6—35 кВ обеспечивается достаточная разница между контролируемой защитой сигналами на поврежденной и неповрежденных линиях. На основании этого можно говорить о возможности эффективной работы новой защиты от ОЗЗ в сетях с компенсированной нейтралью горных предприятий.

Упрощенная блок-схема устройства такой защиты, основанной на контроле пульсирующей мощности, приведена на рис. 6.

Новую защиту от ОЗЗ планируется изготавливать на базе современного микропроцессорного устройства, включающего микроконтроллер, модули аналогового ввода, модули дискретного вы-

вода. Блоки входных трансформаторов (так называемых преобразователей) тока и напряжения предназначены для согласования уровня сигнала с трансформаторов тока и напряжения линии с требуемыми входными уровнями защиты, а также служат для гальванической развязки. Блок выходных реле предназначен для формирования сигнала о появлении ОЗЗ и передачи его к цепям отключения или сигнализации. Весь алгоритм новой защиты будет реализован микроконтроллером. При относительном принципе работы защиты установки одного такого устройства непосредственно на подстанции будет достаточно для контроля всех отходящих от секции шин линий. Благодаря малому времени выполнения логических операций всей элементной базы защиты и большой частоте дискретизации модулей возможно создание быстродействующей защиты, основанной на контроле пульсирующей мощности, обеспечивающей достоверное определение поврежденной линии. Применение такой защиты позволит своевременно отключать ОЗЗ — одно из самых опасных и распространенных повреждений в распределительных сетях 6—35 кВ горных предприятий.

Список литературы

1. **Цапенко Е. Ф.** Замыкания на землю в сетях 6—35 кВ. М.: Энергоатомиздат, 1986. 128 с.
2. **Сапунков М. Л., Худяков А. А.** Разработка селективной защиты от однофазных замыканий на землю для распределительных сетей 6—10 кВ // Энергетика. Инновационные направления в энергетике: материалы 3-й Всерос. науч.-техн. конф. Пермь, 2010.
3. **Сапунков М. Л., Худяков А. А.** Исследование на физической модели распределительной сети характеристик защиты от однофазных замыканий на землю, основанной на контроле пульсирующей мощности // XVI Бенардосовские чтения: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Иваново, 1—3 июня 2011 г.
4. **Худяков А. А., Сапунков М. Л.** Влияние асимметрии проводимостей фаз линий на землю в сетях 6—10 кВ на селективность определения поврежденной линии при однофазных замыканиях // Электротехника. 2011. № 5. С. 2—5.
5. **Пат. № 2352044.** Способ защиты трехфазной сети от однофазных замыканий на землю / Сапунков М. Л., ПермГТУ.
6. **Шуин В. А., Гусенков А. В.** Защиты от замыканий на землю в электрических сетях 6—10 кВ. М.: НТФ "Энергопрогресс", 2001. 104 с.
7. **Круг К. А.** Основы электротехники. М.-Л.: Госэнергоиздат, 1946.
8. **РД 34.20.179 (ТИ 34-70-070-87).** Типовая инструкция по компенсации емкостного тока замыкания на землю в электрических сетях 6—35 кВ. М.: СПО Союзтехэнерго, 1988.

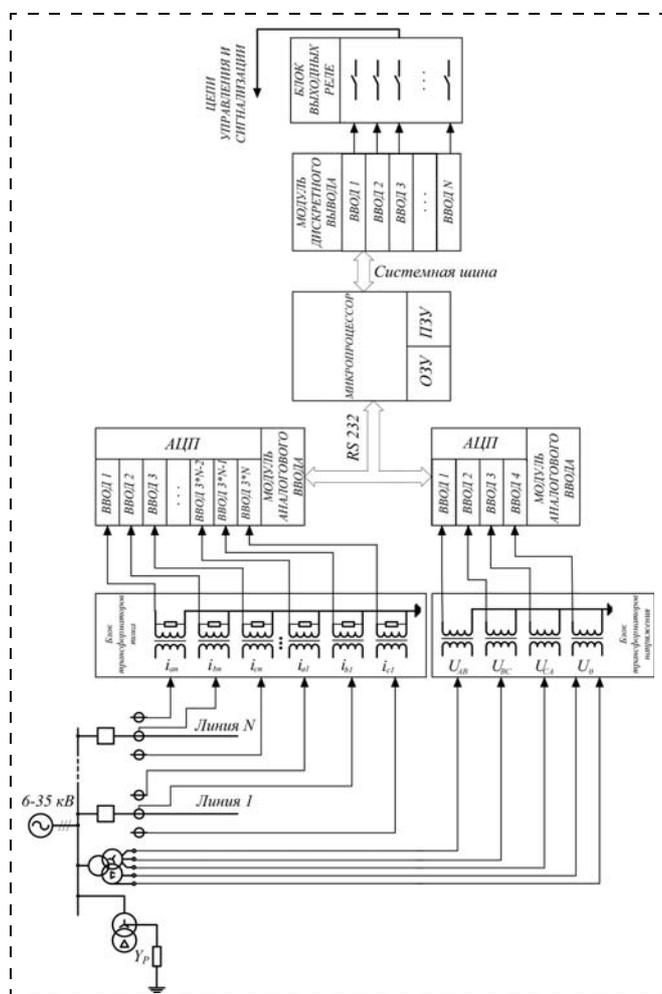


Рис. 6. Упрощенная блок-схема устройства новой защиты, основанной на контроле пульсирующей мощности:
 АЦП — аналого-цифровой преобразователь; ПЗУ — постоянное запоминающее устройство; ОЗУ — оперативное запоминающее устройство

Об эффективности защиты распределительных сетей 6—35 кВ от однофазных замыканий, основанной на контроле пульсирующей мощности, при перемежающейся дуге

Рассмотрены особенности функционирования защиты распределительных сетей 6—35 кВ горных предприятий от однофазных замыканий на землю, основанной на контроле пульсирующей мощности, при перемежающейся дуге.

Ключевые слова: математическая модель, электрическая сеть, способ защиты, пульсирующая мощность, дуговое замыкание на землю.

M. L. Sapunkov, A. A. Khudyakov, I. A. Kostarev

About Efficiency of Distributive Networks 6—35 kV Protection Against Ground-Faults, Based on Control of Pulsating Power, During Interrupted Arc

In this article the features of functioning of distributive networks protection for 6—35 kV mine enterprises against ground-faults based on control of pulsating power are considered during interrupted arc.

Keywords: mathematical model, electric network, protection method, pulsating power, arcing ground-fault.

Процесс добычи полезных ископаемых неразрывно связан с надежностью работы систем электроснабжения горных предприятий. На предприятиях по разработке полезных ископаемых открытым способом вопросы электробезопасности и бесперебойности электроснабжения в силу специфических условий эксплуатации электрооборудования стоят наиболее остро.

Современные карьеры являются крупными потребителями электрической энергии, что обуславливает наличие на карьере протяженной и разветвленной распределительной сети, которая нередко является объектом повреждений и неисправностей. Преобладающим видом повреждений в распределительных сетях 6—35 кВ карьеров являются однофазные замыкания на землю (ОЗЗ). Причем значительная часть ОЗЗ имеет неустойчивый характер и сопровождается горением перемежающейся дуги. По некоторым данным, доля перемежающихся дуговых замыканий может достигать 80 % от общего числа ОЗЗ [1, 2].

Перенапряжения, возникающие при дуговых замыканиях, могут привести к возникновению в

сети двухфазного короткого замыкания через землю, в результате чего существенно увеличивается вероятность поражения обслуживающего персонала электрическим током.

В настоящей статье приведены результаты исследований эффективности работы защиты от ОЗЗ, основанной на контроле пульсирующей мощности [3, 4], при возникновении в сети перемежающегося замыкания на землю.

Пульсирующая мощность трехфазных линий является переменной составляющей суммарной мгновенной мощности линии и обусловлена несимметрией напряжений и токов. При возникновении ОЗЗ изменяется степень несимметрии в сети и, как следствие, характер пульсирующей мощности всех линий сети. При устойчивом ОЗЗ наибольшее изменение (приращение) пульсирующей мощности происходит на поврежденной линии сети, где протекает общий ток замыкания на землю. Именно этот фактор позволяет однозначно идентифицировать повреждение в сети при возникновении устойчивого ОЗЗ.

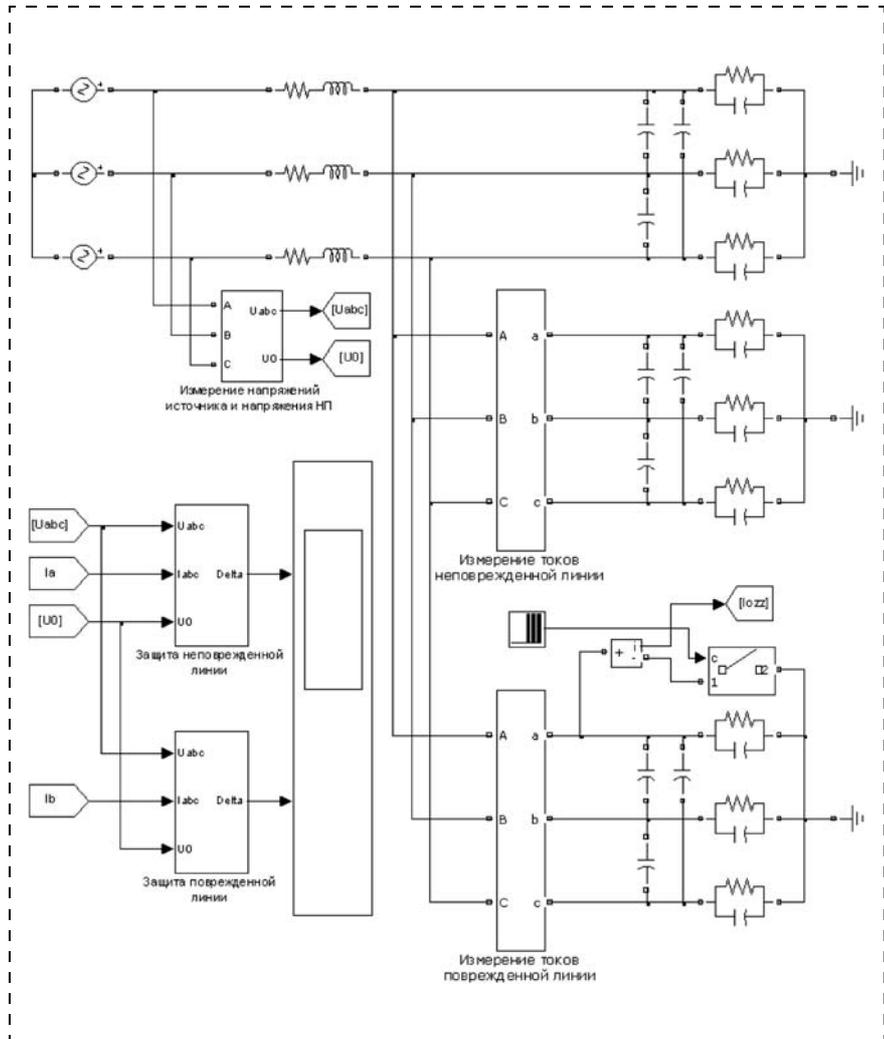


Рис. 1. Модель распределительной сети с защитой

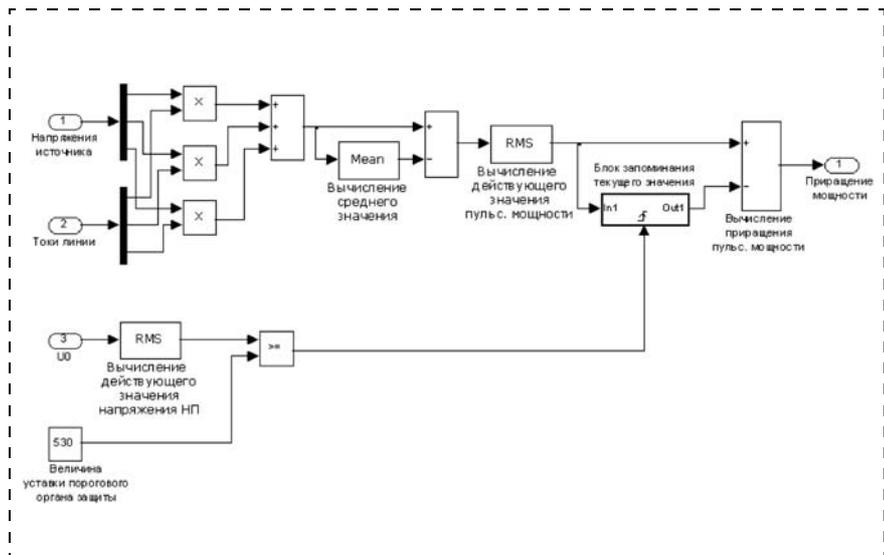


Рис. 2. Модель защиты

Однако для начальной стадии развития повреждения характерны перемежающиеся дуговые замыкания на землю, которые сопровождаются многократными зажиганиями и гашениями заземляющей дуги. Это приводит к возникновению в сети переходных колебательных процессов и появлению высокочастотных составляющих в напряжениях и токах, что существенно влияет на характер и величину контролируемой мощности как на поврежденной, так и на любой неповрежденной линии.

В виду ограниченных возможностей проведения экспериментов в действующих сетях 6–35 кВ карьеров, наиболее подходящим методом исследования дуговых замыканий является имитационное моделирование на ЭВМ с использованием интегрированной среды моделирования MatLab [5].

Модель распределительной сети с защитой (рис. 1) содержала источник питания, представленного фазными ЭДС, и несколько отходящих от секции шин линий (одна из которых являлась поврежденной), представленных сосредоточенными параметрами относительно земли.

На входы блока защиты (рис. 2) подавались токи фаз защищаемой линии, напряжения источника питания и управляющий сигнал, формируемый пороговым органом защиты по напряжению нулевой последовательности сети. По токам и напряжениям вычислялась мгновенная мощность линии и пульсирующая мощность, как разность мгновенной мощности и ее среднего значения. Приращение пульсирующей мощности, контролируемое для целей защиты, вычислялось как разность между значением этой мощности, запоминаемое в нормальном режиме работы сети, и значением при замыкании фазы на землю.

Исследования проводились при следующих условиях:

1) линейные напряжения источника питания симметричны, их величина составляла 6,3 кВ;

2) собственные проводимости фаз и междуфазные емкости отдельных линий сети на землю одинаковые;

3) величины суммарной емкости и относительной активной проводимости сети на землю составляли $C_{\Sigma} = 5 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$, $d = 0,04$;

4) величины эквивалентных индуктивности и активного сопротивления источника питания составляли $L = 0,0018 \text{ Гн}$, $R = 2 \text{ Ом}$;

5) исследуемая разновидность перемежающегося ОЗЗ соответствовала классической теории Петерсена: зажигание дуги соответствовало моменту времени, когда напряжение повреждаемой фазы достигало амплитудного значения, погасание дуги происходило в моменты перехода свободной составляющей тока ОЗЗ через ноль [6].

Адекватность процессов в модели и реальной сети обеспечивалась в соответствии с теорией подобия и моделирования электроэнергетических систем, при этом главное внимание уделялось совпадению частотных параметров и постоянных затуханий в реальных и моделируемых элементах сети.

На рис. 3 в качестве примера приведены кривые мгновенных значений приращений переменной составляющей мощности поврежденной $\Delta P_{\text{П}\alpha}$ и неповрежденной $\Delta P_{\text{П}\beta}$ линий сети, отнесенные к максимальному значению этого приращения $\Delta P_{\text{П}\alpha\text{max}}$ на поврежденной линии, и их действующие значения ($\Delta P_{\text{П}\alpha\text{эф}}$, $\Delta P_{\text{П}\beta\text{эф}}$), контролируемые для целей защиты, при возникновении перемежающегося замыкания на землю. Так как для обеспечения высокого быстродействия защиты действующие значения приращений вычислялись за каждый период пульсирующей мощности (0,01 с), то кривые изменения этой величины представляются ступенчато. При этом различный уровень действующих значений на каждом периоде обусловлен различным уровнем броска емкостного тока при очередном зажигании дуги.

На рис. 3 видно, что кривые переменной составляющей мощности линий при перемежающемся ОЗЗ представляют собой колебания разного спектра, частота которых в общем виде определяется параметрами питающего трансформатора и параметрами самих линий.

Стоит отметить, что в отличие от установившегося режима ОЗЗ, возникновение в симметричной

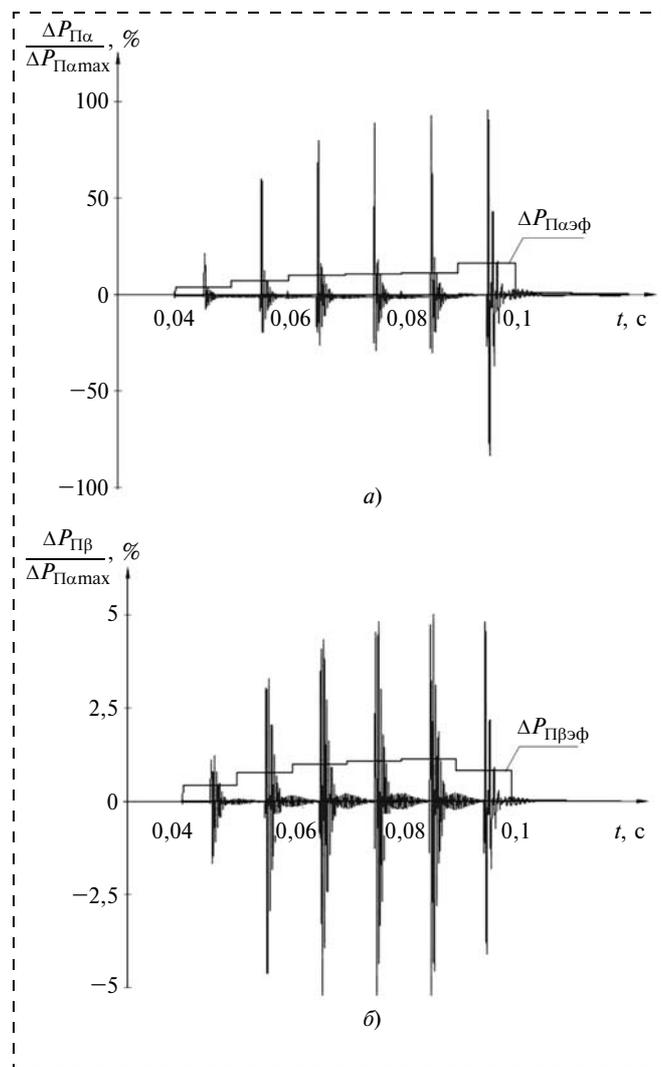


Рис. 3. Кривые изменения приращения переменной составляющей мощности и ее эффективного значения: а — на поврежденной линии сети; б — на неповрежденной линии сети

(идеализированной) сети перемежающегося ОЗЗ обуславливает некоторую величину приращения переменной составляющей мощности и на неповрежденных линиях. Это объясняется тем, что на любой линии сети токи на землю при дуговом замыкании содержат ряд гармонических составляющих различных частот, которые и обуславливают переменную составляющую мощности на любой неповрежденной линии.

Однако наибольший уровень высших гармоник будет только на поврежденной линии вследствие протекания по ней общего тока замыкания сети на землю.

Это обуславливает тот факт, что именно на поврежденной линии приращение переменной составляющей мощности будет наибольшим. Исследованиями установлено, что при принятых для

моделирования исходных данных в сети с изолированной нейтралью контролируемая величина приращения переменной составляющей мощности на поврежденной линии в условиях перемежающегося ОЗЗ превышала аналогичную величину на неповрежденной линии более чем в 300–500 раз.

Это подтверждает возможность успешного (с высокой чувствительностью) функционирования защиты, основанной на контроле пульсирующей мощности, и в режимах перемежающихся дуговых замыканий.

Список литературы

1. **Цапенко Е. Ф.** Замыкания на землю в сетях 6–35 кВ. М.: Энергоатомиздат, 1986.

2. **Пивняк Г. Г., Шкрабец Ф. П., Горбунов Я. С.** Релейная защита электроустановок на открытых горных работах: Справочное пособ. М.: Недра, 1992.

3. **Пат. РФ № 2309507.** Способ защиты трехфазной сети от однофазных замыканий на землю / М. Л. Сапунков, ПермГТУ; опубл. 27.10.2007, бюл. № 30.

4. **Сапунков М. Л., Худяков А. А.** Аналитическое обоснование нового способа защиты трехфазных сетей от однофазных замыканий на землю // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2008. № 8. С. 109–111.

5. **Черных И. В.** Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink. М.: ДМК Пресс, СПб.: Питер, 2008.

6. **Лихачев Ф. А.** Замыкания на землю в сетях с изолированной нейтралью и с компенсацией емкостного тока. М.: Энергия, 1971.

УДК 622.673

М. Г. Трифанов, мл. науч. сотр., ПНИПУ, **Д. В. Барашков**, инж.-программист, ООО "Региональный канатный центр", г. Пермь

E-mail: kanat@pstu.ru

Ограничитель скорости ОС-5

Приведено описание ограничителя скорости ОС-5, обеспечивающего выполнение требований действующих Правил безопасности.

Ключевые слова: шахтная подъемная установка, защита, превышение скорости.

M. G. Trifanov, D. V. Barashkov

Speed Limiter OC-5

Description of speed limiter OC-5 is presented. Speed limiter ensures the fulfillment of safety regulations.

Keywords: main hoist, safety protection, overspeed.

Действующие Правила безопасности при разработке рудных, нерудных и россыпных месторождений подземным способом (ПБ 03-553-03) [1] и Правила безопасности в угольных шахтах (ПБ 05-618-03) [2] требуют оснащения действующих шахтных подъемных установок ограничителями скорости с самодиагностикой измерительных каналов и исполнительных элементов (пп. 359б, 360н ПБ 03-553-03 и 392б, 393к ПБ 05-618-03). Для обеспечения выполнения требований Правил безопасности сотрудниками кафедры "Горные и нефтепромысловые машины" Пермского националь-

ного исследовательского политехнического университета (ПНИПУ) совместно с ООО "Региональный канатный центр" разработан и внедрен в практику эксплуатации действующих шахтных подъемных установок ограничитель скорости ОС-5. При разработке основных требований к ограничителям скорости авторами был учтен опыт внедрения более 150 регистраторов параметров на шахтных подъемных установках рудников России, Казахстана и Белоруссии, а также требования статьи 1 п. 3–6 Федерального закона РФ "Об обеспечении единства измерений" № 102-ФЗ.

Широко применяемые на рудниках ограничители скорости ЭОС-3 имеют ряд недостатков. Одним из них является сложность, а порой и невозможность использования ограничителя для контроля нескольких горизонтов одновременно. То есть для контроля промежуточных горизонтов требуется переключение схемы на каждый следующий горизонт. Для клетевых подъемных машин, имеющих более трех-четырёх рабочих горизонтов и посадочные устройства почти на каждом из них, это представляет определенные трудности. Ограничитель скорости ОС-5 лишен этого недостатка, так как он способен отслеживать до 20 горизонтов, причем с учетом движения по ним обоих подъемных сосудов. Количество и положение горизонтов вводится при наладке ограничителя за несколько минут при помощи программы настройки ОС-5 с подключенного ноутбука.

Конструкция большинства ограничителей скорости подразумевает сравнение заданной скорости с защитной тахограммой от момента поступления сигнала о начале замедления. "Практика эксплуатации ограничителей скорости ЭОС-3 выявила, что отказы чаще всего происходят вследствие нечеткой работы этажных выключателей..., что является большим конструктивным недостатком ограничителя ЭОС-3 (медленное или нечеткое переключение, недовключение, загрязнение и поломка контактов). ...Эти неисправности приводят к частым ложным срабатываниям ограничителя и при условии напряженной работы подъема эксплуатационный персонал, как правило, выводит ограничитель из работы, шунтируя его контакты в цепи защиты." [3].

Запаздывание сигнала от этажных выключателей о начале защитной тахограммы, например, на 10 м по пути, при движении на максимальной скорости 12 м/с и замедлении $1,5 \text{ м/с}^2$, приведет к тому, что в аварийной ситуации скорость подхода сосуда к посадочным устройствам будет порядка 4 м/с. Жесткая посадка клетки на кулаки на такой скорости может привести к травмированию людей, находящихся в клетке. Преимуществом ограничителя ОС-5 является точное и независимое измерение положения и скорости подъемных сосудов при помощи датчиков угла поворота вала. Два датчика, механически связанных с валом подъемной машины, осуществляют независимые измерения и взаимоконтроль друг друга. Положение измеряется многооборотным шифратором угла поворота с разрешением в несколько минут. При отключении питания датчика информация о положении не те-

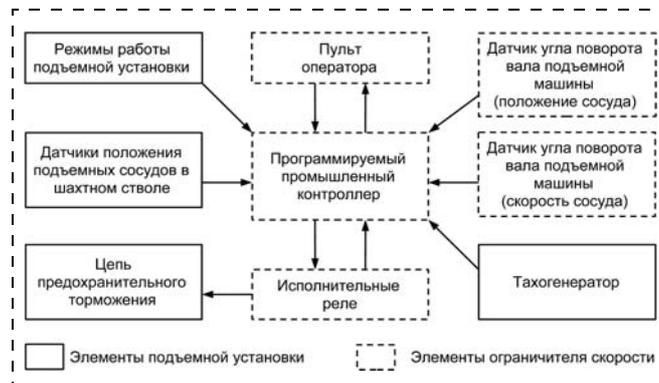


Рис. 1. Блок-схема ограничителя скорости ОС-5

ряется. Скорость измеряется вторым датчиком с погрешностью до $\pm 0,01 \text{ м/с}$. Блок-схема ограничителя скорости ОС-5 приведена на рис. 1.

Скорость в момент разрыва цепи защиты, при которой в процессе предохранительного торможения сосуд с грузом остановится в конечном положении, называется критической. Зависимость этой скорости от положения сосудов называется критической тахограммой.

Основой для расчета критической тахограммы служат параметры, полученные обработкой графика изменения скорости при предохранительном торможении при испытании тормозной системы [4, 5]. К этим параметрам относятся ускорение свободного выбега $a_{св}$, установившееся замедление $a_{пт}$ и приращение скорости за время выбега dv .

При отсутствии полных исходных данных для их расчета или невозможности гарантии стабильности этих параметров во время работы подъемной установки (изменение коэффициента трения коллодок, КПД тормозной системы, величины груза в подъемном сосуде) допускается принимать значения этих параметров исходя из типа подъемной установки и угла наклона ствола [4]. Критическая тахограмма рассчитывается для всех скоростей в диапазоне $v_i = 0 \dots 1,15v_M$ исходя из площади линейаризованной тахограммы по формуле:

$$h_{ki} = (v_i + dv)^2 / (2a_{пт}) + v_i(t_{oc} + t_{cp}) + dvt_{cp} / 2, \quad (1)$$

где h_{ki} — значения положения подъемного сосуда на критической тахограмме, соответствующие значениям скорости v_i ; v_M — максимальная скорость подъема; t_{oc} — время срабатывания ограничителя скорости (0,1 с); t_{cp} — время срабатывания тормоза (0,8 с) [3].

Расчетное время срабатывания тормоза t_{cp} может оказаться больше нормируемого (0,8 с) [2] значения и зависит от соотношения ускорений

предохранительного торможения $a_{\text{ПТ}}$ и свободного выбега $a_{\text{СВ}}$ [4].

Защитная тахограмма — это зависимость значений скорости от положения подъемных сосудов, при достижении которых должно происходить срабатывание ограничителя скорости.

Расчет защитной тахограммы выполняется по формуле:

$$h_{zi} = (v_i^2 - v_{\text{П}}^2)/(2a_3) + h_{\text{д}}, \quad (2)$$

где h_{zi} — значение положения подъемного сосуда на защитной тахограмме, соответствующее значению скорости v_i ; $h_{\text{д}}$ — минимальный путь "дотягивания"; $v_{\text{П}}$ — скорость подхода (1 м/с при перевозке людей и 1,5 м/с в режиме "Груз" [1, 2]); a_3 — величина расчетного замедления защитной тахограммы:

$$a_3 = a_p(1,15^2 v_{\text{М}}^2 - v_{\text{П}}^2)/(v_{\text{М}}^2 - v_{\text{д}}^2), \quad (3)$$

a_p — допускаемая величина рабочего замедления.

Как правило, на практике, $h_{\text{д}}$ и a_3 определяют графически из условия, что защитная тахограмма не пересекает критическую.

В ограничителе скорости ОС-5 величина $h_{\text{д}}$ определяется расчетным путем. Сначала из условия $h_{\text{к}} = h_3$ (условие касания защитной и критической тахограмм), путем подстановки (1) и (2) и решения полученного уравнения находят $h_{\text{д}}$. Затем, для определения окончательного значения $h_{\text{д}}$, учитывают допустимую погрешность срабатывания ограничителя. Для этого защитная тахограмма смещается таким образом, чтобы в точке касания тахограмм появился запас по скорости на величину $dv_{\text{доп}}$, которая нормируется ОСТ 1224.189—80. После определения $h_{\text{д}}$ рассчитывается оптимальное защитное замедление $a_{3,\text{опт}}$ из условия минимизации времени снижения скорости от максимальной величины до полной остановки:

$$t_{\text{с.ск}} = (1,15v_{\text{М}} - v_{\text{П}})/a_3 + h_{\text{д}}/v_{\text{П}}. \quad (4)$$

Для определения $a_{3,\text{опт}}$ приравнивают нулю производную выражения (4) по a_3 и решают полученное уравнение относительно a_3 .

Допускаемая величина рабочего замедления a_p вычисляется из (3) путем подстановки в a_3 оптимального защитного замедления и решения уравнения относительно a_p . Если полученное значение превышает нормативное [1, 2], то принимается нормативное [4].

Настройка ограничителя на величину скорости подхода, допустимую по ПБ, не всегда может защи-

тить подъемную установку от аварийного переподъема или жесткой посадки. Потому что путь, проходимый сосудом при предохранительном торможении, может оказаться больше пути свободного переподъема, а скорость его в момент подхода к точке жесткой посадки будет больше допустимой [3].

Поэтому в ограничителе ОС-5 рассчитывается допустимая скорость подхода к концевому выключателю переподъема исходя из фактического пути свободного переподъема, а также учитывается путь, незащищаемый ограничителем от жесткой посадки. Формулы для расчета допустимой скорости подхода к концевому выключателю переподъема и пути, незащищаемого ограничителем скорости от жесткой посадки, приведены в [3]. Если допустимая скорость подхода к концевому выключателю переподъема $v'_{\text{П}}$ меньше допустимой скорости подхода по ПБ, то в качестве скорости подхода принимается $v'_{\text{П}}$. В случае, когда путь, незащищаемый ограничителем скорости от жесткой посадки $h_{\text{жп}}$, оказывается больше, чем $h_{\text{д}}$, в качестве пути дотяжки принимается $h_{\text{жп}}$.

Ограничитель скорости ОС-5 обеспечивает защиту от превышения скорости подъемных установок, имеющих до 20 приемных площадок, в соответствии с требованиями Правил безопасности.

Основные функции ограничителя скорости ОС-5:

- расчет защитной, критической и рабочей тахограмм;

- непрерывное измерение положения и скорости подъемных сосудов;

- вывод текущих значений и аварийных сообщений на пульт оператора;

- сравнение измеренных значений скорости с защитной тахограммой и выдача сигнала на размыкание цепи предохранительного тормоза;

- самодиагностика измерительных каналов и исполнительных элементов.

Ограничитель ОС-5 легко настраивается при помощи ноутбука по результатам испытаний тормозной системы. Программа "Конфигуратор ограничителя скорости ОС-5" (OS5Con) позволяет отображать и сохранять графики положения, скорости и ограничения скорости сосудов и журнал событий. На рис. 2 (см. 3-ю стр. обложки) приведено основное окно программы "Конфигуратор ограничителя скорости ОС-5". Эта часть программы предназначена для расчета параметров защитной, критической и рабочей тахограмм.

Расчет проводится на основе вводимых данных по параметрам подъемной установки и парамет-

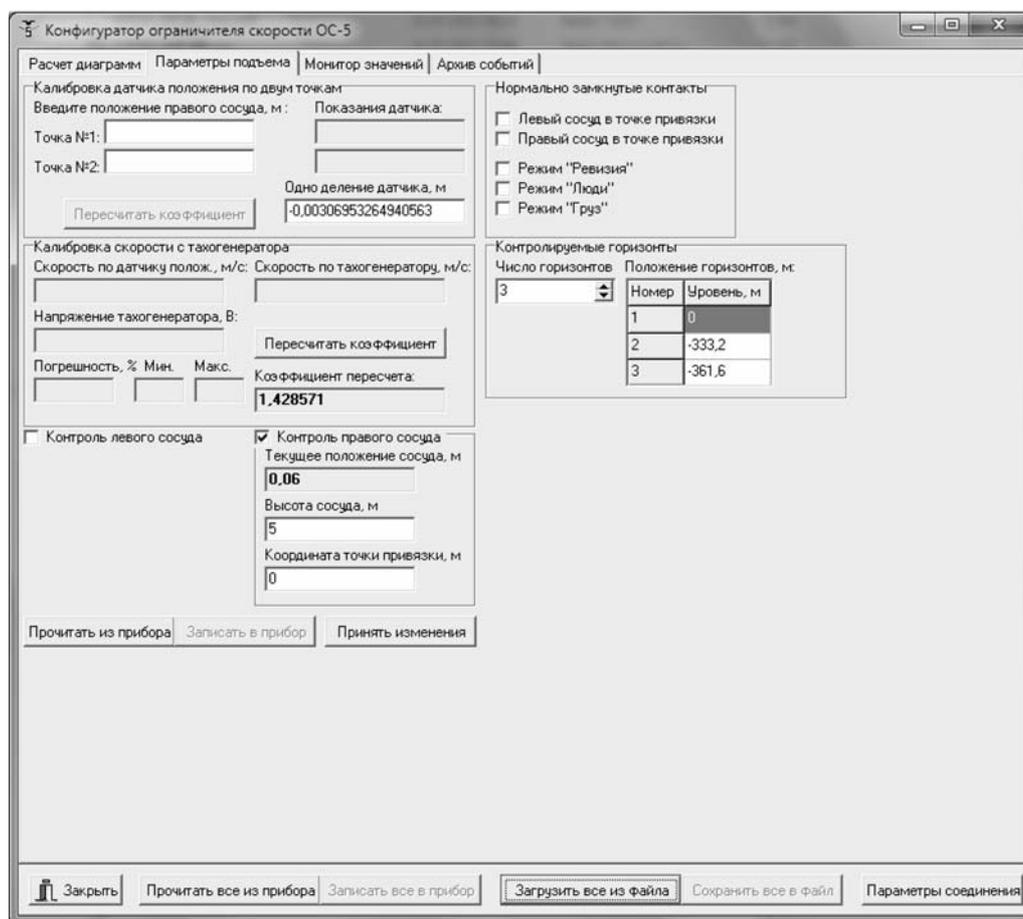


Рис. 3. Окно программы ввода параметров подъема и калибровки измерительных каналов ОС-5

рам, полученным обработкой графика изменения скорости при предохранительном торможении при испытании тормозной системы.

На рис. 3 приведено окно программы "Конфигуратор ограничителя скорости ОС-5", обеспечивающее ввод параметров подъема и калибровки измерительных каналов ОС-5.

Окно программы "Конфигуратор ограничителя скорости ОС-5" (рис. 4, см. 3-ю стр. обложки) позволяет вести мониторинг всех измеряемых параметров ограничителя скорости ОС-5 в реальном режиме времени. Соответствующая часть программы позволяет сохранять измеренные параметры, просматривать и документировать сохраненные графики скорости, положения и ограничения скорости подъемной установки.

Ограничитель скорости ОС-5 имеет разрешение на применение, выданное Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору (Разрешение № РРС 00-38037), и сертификати-

рован как тип средств измерений Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии (Свидетельство RU.C.28.004.A № 37774).

Список литературы

1. **Единые** правила безопасности при разработке рудных, нерудных и россыпных месторождений полезных ископаемых подземным способом (ПБ 03-553-03) М.: Научно-технический центр по безопасности в промышленности, 2005. 200 с.
2. **Правила** безопасности в угольных шахтах (ПБ 05-618-03). М.: Научно-технический центр по безопасности в промышленности, 2005. 296 с.
3. **Шахтный** подъем / В. Р. Бежок, В. И. Дворников, И. Г. Манец, В. А. Пристром. Донецк: Юго-Восток, Лтд, 2007. 624 с.
4. **Методика** расчета критической, защитной и рабочей тахограмм шахтных подъемных установок. Донецк: ВНИИГМ им. М. М. Федорова, 1984.
5. **Трифанов Г. Д.** Наладка тормозной системы шахтных подъемных установок с помощью аппаратуры "Силькан" // Горное оборудование и электромеханика. 2011. № 12. С. 20—23.

УДК 620.179.14.05

В. Е. Винокуров, ст. преп., **А. А. Князев**, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., ПНИПУ, г. Пермь

E-mail: ve56@yandex.ru

Снижение массы магнитной системы канатного дефектоскопа на основе численного моделирования

Рассмотрены результаты расчетов магнитной системы канатного дефектоскопа на основе программного обеспечения COMSOL Multiphysics. Проведено сопоставление полученных данных с экспериментальными данными и аналитическими расчетами. Показана достоверность полученных данных, возможность использования COMSOL Multiphysics для проектирования и оптимизации конструкции дефектоскопа.

Ключевые слова: метод магнитной дефектоскопии, дефектоскоп стальных канатов, COMSOL Multiphysics, постоянные магниты, датчик Холла, конечно-элементная сетка, локальные дефекты.

V. E. Vinokurov, A. A. Knyazev

Decrease in Weight of the Magnetic System of the Rope Flaw Detector on the Basis of Numerical Modeling

The results of calculations of the magnetic system of rope flaw detector based software COMSOL Multiphysics. A comparison of the data with the experimental data and analytical calculations. Shows the accuracy of the data, the use of COMSOL Multiphysics for the design optimization of a design flaw.

Keywords: by magnetic nondestructive testing of steel wire ropes, COMSOL Multiphysics, permanent magnets, Hall, finite element mesh, local defects.

Практически все современные дефектоскопы стальных канатов [1–3] используют магнитный метод неразрушающего контроля. Основные типы дефектов, которые встречаются у стальных канатов, это [11]:

1) распределенный дефект — дефект каната, распределенный на значительной его длине (например, потеря сечения от истирания или коррозии проволок каната);

2) локальный дефект — дефект каната, сосредоточенный на его коротком участке (например, локальная коррозия или обрыв проволок).

Магнитная индукция в стальном канате создается близкой к насыщению с помощью постоянных магнитов на основе сплавов Nd—Fe—В. При всех положительных качествах таких дефектоскопов они обладают большой массой приборов. Так, для канатов диаметром 40...64 мм масса измерительной головки составляет до 15 кг [4].

Аналитические методы расчета магнитной системы дают приближенные, оценочные результаты [5]. Из анализа рынка программного обеспечения для расчета полевых задач рассматривались пакеты ANSYS [6], COMSOL Multiphysics [8], ELCUT [7], был выбран пакет COMSOL Multiphysics с модулем Magnetostatics. Данный пакет выбран в первую очередь, потому что он исходно интегрирован в математический пакет MATLAB, который предполагается использовать в дальнейшей работе, а именно приложения Wavelet Toolbox и Simulink.

Для расчета взята конструкция дефектоскопа М. Н. Немцова [9], в которую входят: постоянные магниты, замыкающий их магнитопровод, измерительная система с концентраторами и датчиками Холла. На рис. 1 приведена расчетная схема и графическое представление результата расчета по одному из вариантов.

При метрологической поверке и калибровке прибора по потере ферромагнитного сечения ис-

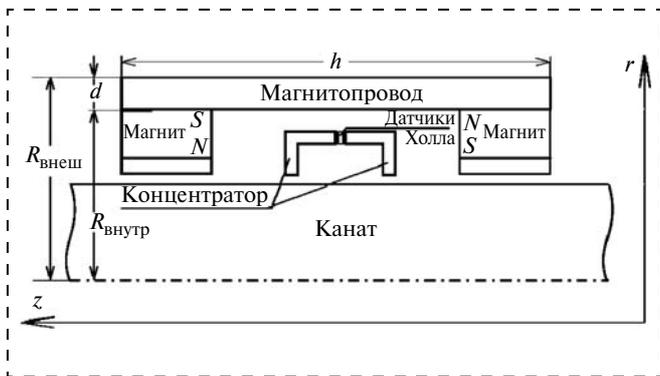


Рис. 1. Расчетная схема магнитной системы дефектоскопа

пользуются контрольные образцы и имитаторы стальных канатов. При моделировании магнитных систем удобнее ориентироваться на имитатор [11], который представляет собой пучок проволок из ферромагнитной стали той же марки, что и в имитируемых канатах. Таким образом, при моделировании стального каната в пакете COMSOL Multiphysics объект исследования можно представить в виде стального цилиндра из ферромагнетика с переменным радиусом. Магнитная проницаемость стали определена по кривой намагничивания при индукции магнитного поля, близкой к насыщению, и принимается постоянной.

При моделировании система рассматривалась в двумерной цилиндрической системе координат, так как объект исследования обладает осевой симметрией. Конечно-элементная сетка расчетной области формировалась в автоматическом режиме геометрической декомпозиции, в котором обеспечивается плавный переход от маленьких элементов в областях неоднородности поля к более крупным. Общее число элементов сетки составило $\approx 31\ 000$. На рис. 2 представлена зависимость индукции магнитного поля B_z в центре зазора между концентраторами, где установлены датчики Холла, от относительного изменения площади поперечного сечения цилиндра $P_s = ((S_0 - \Delta S)/S_0) \cdot 100\%$, где S_0 — первоначальная площадь поперечного сечения; ΔS — потеря поперечного сечения. В диапазоне изменения сечения от 80 до 100 % зависимость остается линейной, что весьма важно при конструировании прибора. Проверка на линейность дает коэффициент корреляции Пирсона 0,999.

Основной вклад в массу дефектоскопа вносит магнитопровод, служащий одновременно корпусом прибора (см. рис. 1) и представляющий собой по сути стальной цилиндр, где h — длина боковой стенки; $d = R_{\text{внеш}} - R_{\text{внутр}}$ — ее толщина. Как по-

казали расчеты, толщина боковой стенки этого элемента, как правило, выбирается приблизительно и с запасом. В дефектоскопе М. В. Немцова [9] толщина стенки магнитопровода составляет 10 мм. В нашем исследовании были проведены расчеты с толщинами магнитопровода d , равными 2, 4, 6, 8 и 10 мм (рис. 3).

На рис. 3 видно, что уменьшение толщины стенки магнитопровода до 6 мм не влечет существенного увеличения поля рассеяния (не более 4 %), а величина магнитной индукции в канате, как показывают расчеты, практически не изменяется. Также фактически без потерь можно уменьшить длину магнитопровода h с 140 до 120 мм. Полученные результаты показывают возможность снижения массы магнитной системы канатного дефектоскопа. Уменьшение массы можно рассчи-

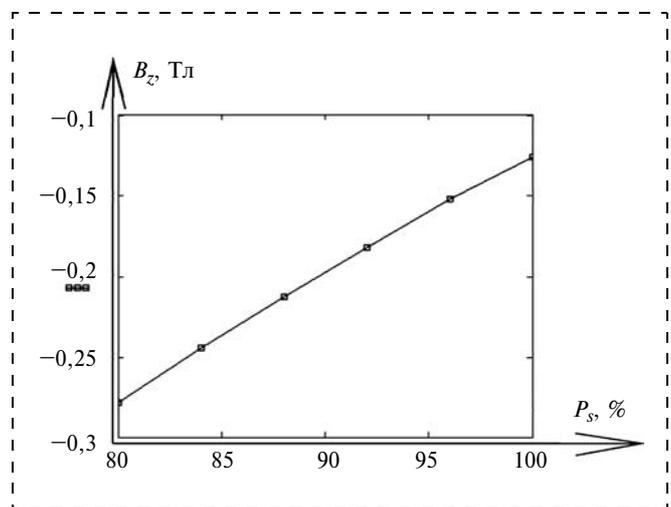


Рис. 2. Зависимость индукции магнитного поля от относительного изменения площади поперечного сечения цилиндра

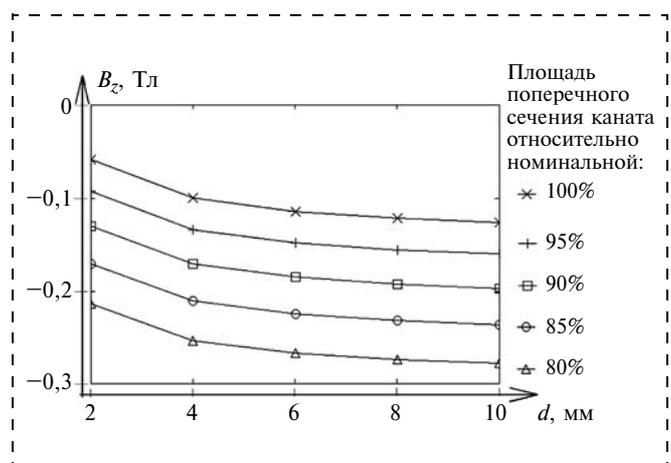


Рис. 3. Зависимость магнитной индукции в измерительном зазоре при различной площади поперечного сечения от толщины стенки магнитопровода

тать по следующей формуле, приняв плотность стали для магнитопровода $\rho = 7800 \text{ кг/м}^3$:

$$\frac{\Delta m}{m_1} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} = 1 - \frac{\rho V_2}{\rho V_1} = 1 - \frac{\rho h_2 \pi (R_2^2 - R_0^2)}{\rho h_1 \pi (R_1^2 - R_0^2)} = 1 - \frac{2,12 \text{ [кг]}}{4,25 \text{ [кг]}} = 0,5,$$

где m_1, m_2, V_1, V_2 — соответственно массы магнитопроводов и объемы различной толщины.

В данной формуле R_0 — внутренний радиус магнитопровода (57 мм), R_1 и R_2 — внешние радиусы (67 и 63 мм), h_1 и h_2 — длина магнитопровода (140 и 120 мм). Подстановка цифр показывает, что масса магнитопровода снижается в 2 раза.

Для проверки работоспособности магнитной системы со сниженной массой были проведены эксперименты по моделированию влияния на конечный результат свивки каната и измерение локальных дефектов.

Поверхность стального каната не является идеально гладкой по сравнению с простым цилиндром (рис. 4), поэтому важно проанализировать влияние свивки каната на результаты измерений.



Рис. 4. Стальной канат

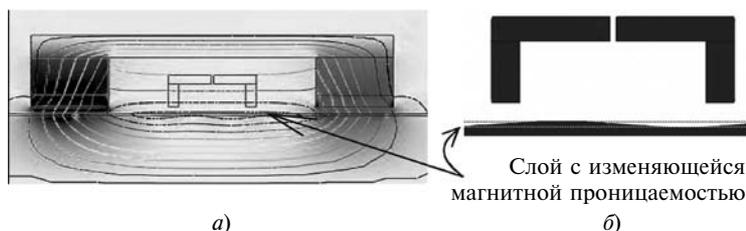


Рис. 5. Моделирование свивки каната: а — конфигурация силовых линий магнитного поля в дефектоскопе с переменной магнитной проницаемостью в верхнем слое; б — распределение магнитной проницаемости под концентратором



Рис. 6. Локальные дефекты

В рассматриваемой модели на поверхности цилиндра был выделен тонкий слой, в котором магнитная проницаемость материала изменяется по гармоническому закону от $\mu = 1$ (воздух) до 1500 (сталь). Результаты моделирования представлены на рис. 5. На рисунке представлено распределение силовых линий радиальной составляющей вектора магнитной индукции (см. рис. 5, а) и изменение магнитной проницаемости в верхнем слое исследуемого объекта непосредственно под концентратором (см. рис. 5, б). На рисунке видно, что основная часть магнитного потока проходит через магнитопровод, магниты и канат. Изменение магнитной проницаемости в верхнем слое приводит к искажению силовых линий. При смещении дефектоскопа относительно цилиндра измеряемая датчиком Холла магнитная индукция в зазоре также изменяется по гармоническому закону, при этом отношение максимальной индукции к минимальной составило не более 0,17 %. Эти расчеты подтверждаются экспериментом. То есть за счет усреднения магнитного поля в концентраторе влияние свивки на результаты измерения магнитного поля очень незначительно и при уменьшенных размерах магнитопровода.

Наряду с потерей поперечного сечения вторым типом дефектов, которые необходимо определять при проведении дефектоскопии стальных канатов, являются локальные дефекты: обрывы отдельных проволок, трещины в проволоке и локальная коррозия. Некоторые локальные дефекты представлены на рис. 6.

Аналитические методы расчета магнитного поля вблизи локальных дефектов основаны на теории образования магнитных полюсов [10]. В зависимости от типа повреждения может образоваться один или два магнитных полюса.

Например, два магнитных полюса образуются при трещине в проволоке или когда концы оборванной в канате проволоки разошлись на небольшое расстояние (рис. 7, а). Один магнитный полюс может образоваться, когда один конец оборванной проволоки вышел наружу каната, а другой находится внутри (см. рис. 7, б).

Основную роль в измерениях играет радиальная (нормальная) составляющая магнитной индукции поля рассеяния. Сравнение результатов моделирования

Вывод

Сопоставление численных результатов, экспериментальных данных и аналитических расчетов позволяет сделать вывод о том, что пакет численного моделирования COMSOL Multiphysics можно использовать для конструирования магнитных систем канатного дефектоскопа, что существенно сокращает время и расходы на создание прибора. В частности, применение полученных результатов позволяет снизить массу магнитопровода прибора на 50 %.

Список литературы

1. <http://www.ndttech.com>
2. <http://www.z-ndt.com/heads.html>
3. <http://www.intron.ru/ru/pribory/intros/>
4. <http://www.intron.ru/ru/pribory/intros/#c123>
5. **Винокуров В. Е., Князев А. А., Кошкин А. П., Трифанов Г. Д.** Совершенствование дефектоскопа для контроля состояния стальных канатов // Дефектоскопия. № 6. Екатеринбург: УрО РАН, 1999.
6. <http://www.ansys.com/>
7. <http://www.comsol.com/>
8. <http://elcut.ru/>
9. **Баштанов М. Е., Курбатов Н. В., Немцов М. В., Петровский А. Н.** Канатный дефектоскоп // Научная сессия МИФИ-99. Т. 9. М.: МИФИ, 1999. С. 41—44.
10. **Кавецкий З., Стахурский Я.** Магнитная дефектоскопия стальных канатов. М.: Недра, 1974. 176 с.
11. **Методические** указания по магнитной дефектоскопии стальных канатов. РД 03-348-00.

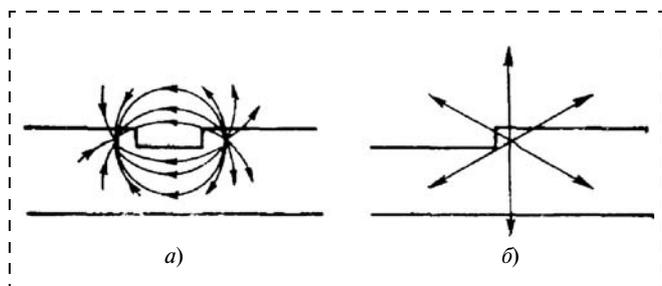


Рис. 7. Образование магнитных полюсов

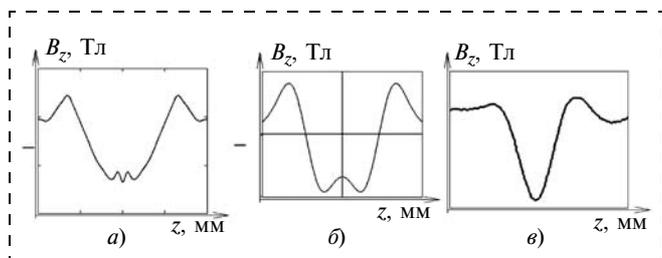


Рис. 8. Графики индукции магнитного поля рассеяния от локального дефекта:

a — при моделировании локального дефекта в пакете COMSOL Multiphysics; *b* — при аналитических расчетах [10]; *в* — экспериментальные

при уменьшенных размерах магнитопровода показало, что измеренный сигнал от локального дефекта по форме совпадает с аналитическими расчетами [10] и экспериментальными замерами на контрольном образце каната (рис. 8).

Информационное сообщение

С 28 января по 01 февраля 2013 г.
в Московском государственном горном университете будет проходить

Международный научный симпозиум "Неделя горняка—2013"

ОРГАНИЗАТОРЫ:

ФГБОУ ВПО Московский государственный горный университет
ФГБУН Институт проблем комплексного освоения недр РАН
Научный совет РАН по проблемам горных наук

ПРОГРАММА

1. Пленарное заседание (29 января, 10:00, Актовый зал)
2. Семинары Международного научного симпозиума "Неделя горняка-2013" (29 января—01 февраля).
28 января — организационный день, регистрация (10:00—18:00),
29 января — регистрация (9:00—10:00)

Информацию о "Неделе горняка-2013" и вносимые изменения можно получить на WEB-сайтах: www.msmu.ru, <http://science.msmu.ru/>

Адрес для переписки: Россия, 119991, Москва, Ленинский проспект, д. 6,
Московский государственный горный университет.

Оргкомитет "Недели горняка-2013".

Телефон: 8 (499) 230-2751, Королева Валентина Николаевна

Факсы: 8 (499) 237-3163, 8 (499) 236-3216, 8 (499) 237-6488

E-mail: koroleva@msmu.ru

Оценка влияния предохранительного торможения на долговечность стального каната шахтной подъемной установки

Рассмотрен способ расчета долговечности шахтного подъемного каната с учетом воздействия динамических нагрузок в рабочих режимах и при предохранительном торможении.

Ключевые слова: шахтный подъемный канат, шахтная подъемная установка, долговечность, ресурс, предохранительное торможение, анализатор защит.

G. D. Trifanov, M. A. Strelkov

The Influence Estimation of the Safety Breaking on the Durability of Mine Hoisting Plant Steel Rope

The mine hoisting rope durability equation method allowed for influence of the dynamic loads in operation modes and safety breaking mode is considered.

Keywords: mine hoisting rope, mine hoisting plant, durability, life time, safety breaking, safeguard analyzer.

Основной технологической операцией, выполняемой шахтной подъемной установкой (ШПУ), является подъем груза. Цикл подъема груза можно разделить на несколько этапов: загрузка подъемного сосуда, разгон подъемной машины, движение с равномерной скоростью, замедление, остановка и разгрузка подъемного сосуда.

Совокупность процессов нагружения, происходящих при подъеме груженого сосуда и последующем спуске порожнего, составляет нагрузочный цикл подъемного каната при работе ШПУ в основном режиме работы. На рис. 1 (см. 4-ю стр. обложки) приведена реальная диаграмма изменения натяжения подъемного каната в течение двух полных нагрузочных циклов, совмещенная с графиками скорости движения и положения скипа в шахтном стволе. Усилие натяжения в канате измерялось косвенно по деформации несущих балок шахтных копров в районе отклоняющих шкивов с помощью аппаратуры "Тулум" [1], а скорость и положение скипа определены по данным системы регистрации параметров работы ШПУ [2]. Максимальная скорость движения скипов на этой подъемной установке — 7,95 м/с, высота подъема — 482,1 м.

Диаграмма натяжения подъемного каната начинается с операции спуска порожнего скипа и

характеризуется линейным нарастанием величины усилия натяжения по причине сбегания каната с барабана подъемной машины и увеличения его длины. С момента остановки скипа, когда график скорости имеет горизонтальный участок, происходит загрузка скипа рудой, что отражается на диаграмме натяжения подъемного каната более крутым характером нарастания усилия. По окончании этапа загрузки сила натяжения каната принимает максимальное значение за нагрузочный цикл. Затем в процессе подъема груза усилие линейно убывает за счет уменьшения длины каната. Когда груженный скип поднимается до высоты приемной площадки, начинается его разгрузка, сопровождающаяся быстрым снижением нагрузки на канат до минимального значения за нагрузочный цикл. После этого вновь происходит спуск порожнего скипа и нагрузочный цикл повторяется.

Характер протекания нагрузочного цикла подъемного каната, представленный на рис. 1 (см. 4-ю стр. обложки), указывает на периодическое растяжение—сжатие каната как основной вид его нагружения. Для приближенной оценки долговечности подъемного каната все нагрузочные циклы можно принять одинаковыми. Это допущение означает, что масса поднимаемого груза неизмен-

на от одного подъемного цикла к другому. В этом случае долговечность каната, определяемую числом подъемных циклов до его полного разрушения, можно найти экспериментально на пробных машинах или оценить теоретически [3].

Помимо растягивающих напряжений подъемный канат одновременно подвергается воздействию изгибающих нагрузок, возникающих вследствие прохождения каната по копровому шкиву и при его навивке на барабан подъемной машины.

Нагрузочный цикл подъемного каната ШПУ включает также динамические нагрузки в результате колебаний подъемного сосуда. Динамическое растяжение подъемного каната связано с возникновением ускорения при разгоне и торможении подъемной машины, а также при движении подъемного сосуда по неровному профилю проводников на равномерном участке движения. Этапы загрузки и разгрузки сосудов сопровождаются резким изменением массы конечного груза на канате, что приводит к его свободным колебаниям. Все эти динамические процессы протекают как при спуске порожнего сосуда, так и при подъеме груженого.

Амплитуда изменения напряжений на этапе спуска порожнего сосуда за счет меньшей массы конечного груза сравнима или выше по величине по сравнению с амплитудой напряжений при подъеме груза. Однако статическая нагрузка подъемного каната при спуске порожнего сосуда приблизительно в 2 раза меньше статической нагрузки при подъеме груза, поэтому динамические процессы при спуске порожнего сосуда не оказывают существенного влияния на долговечность каната. Динамические же нагрузки при подъеме груженого сосуда увеличивают максимальное натяжение каната за нагрузочный цикл и их следует учитывать при оценке долговечности каната.

Наибольшие нагрузки подъемный канат испытывает при срабатывании предохранительного тормоза ШПУ после остановки барабана подъемной машины [4], когда к статическому натяжению каната добавляется динамическая составляющая, изменяющаяся периодически с частотой свободных колебаний.

Величина испытываемых подъемным канатом нагрузок на разных этапах подъемного цикла может быть оценена теоретически. Однако экспериментальные исследования показывают, что величина нагрузок зависит от многих факторов и может отличаться на двух одинаковых по паспортным

данным ШПУ. В настоящее время фактические нагрузки позволяет определить специальная аппаратура измерения динамических характеристик движения подъемного сосуда в шахтном стволе [6].

Положения теории долговечности [5] и экспериментальные исследования [7] показывают, что долговечность стального каната уменьшается при воздействии пульсирующих растягивающих нагрузок, свойственных процессу подъема груза на ШПУ. Вопросами динамической долговечности канатов занимались А. Ф. Бабенко и В. И. Бекерский [7, 8], изучившие степень влияния эффекта пульсации на выносливость и разработавшие методику учета влияния непрерывно действующей динамической нагрузки постоянной амплитуды на долговечность стальных канатов.

Подъемный канат ШПУ претерпевает воздействие различных по амплитудам динамических нагрузок на разных этапах подъемного цикла, т. е. за срок своей эксплуатации испытывает нерегулярные нагрузки, переменные во времени. На основе исследований [7, 8] в работе [9] предлагается методика определения долговечности каната, учитывающая несколько типов нагрузок, различных по амплитуде. Исходя из принципа линейного накопления усталости в микрообъеме материала при действии переменных динамических нагрузок различных уровней условие повреждаемости каната имеет вид [9]

$$\frac{N_{\text{экс}}}{k} \sum_{i=1}^k \frac{1}{N'_i} = 1 - \mu, \quad (1)$$

где $N_{\text{экс}}$ — эксплуатационная долговечность каната или число циклов подъема, при котором канат бракуется; N'_i — число циклов нагружения каната до разрушения в результате действия каждой из динамических нагрузок в отдельности (при загрузке и разгрузке скипа, при пуске, торможении и равномерном движении подъемной машины, при срабатывании предохранительного тормоза); k — количество различных типов динамических нагрузок; μ — коэффициент оставшейся работоспособности снятого каната.

Присутствие коэффициента оставшейся работоспособности в (1) обусловлено тем, что по условиям безопасности подъемные канаты снимаются заблаговременно при наличии 5% и более оборванных проволок на одном шаге свивки [10], т. е. снятые канаты еще имеют какой-то ресурс работоспособ-

ности. Коэффициент оставшейся работоспособности μ предельно разрушенного каната

$$\mu = 1 - w, \quad (2)$$

$$w = \frac{N_{\text{экс}}}{N_{\text{полн}}}, \quad (3)$$

где $N_{\text{полн}}$ — долговечность каната в числе циклов подъема, при котором наступило бы его разрушение.

Переход от полной долговечности каната к его эксплуатационной долговечности в формуле (1) проведен умножением обеих частей уравнения линейной гипотезы суммирования усталостных напряжений на коэффициент w . Формула (1) получена из условия, что все динамические нагрузки действуют при каждом цикле подъема одинаковое число раз. Если число колебаний подъемного сосуда на каждом этапе подъемного цикла различно, выражение (1) получит вид

$$\frac{N_{\text{экс}}}{\sum_i v_i} \sum_i \frac{v_i}{N'_i} = 1 - \mu, \quad (4)$$

где v_i — число амплитуд нагружения каждой из динамических нагрузок.

В формуле (1), предложенной в работе [9], используется классическая линейная гипотеза суммирования усталостных напряжений, которая не всегда соответствует результатам экспериментальных испытаний [5]. Линейную гипотезу в своей классической постановке особенно не следует использовать в случае, когда амплитудные значения нагрузок переменных во времени значительно отличаются друг от друга. Динамические нагрузки, испытываемые канатом в основном режиме работы (подъем груза), невелики и близки по значению. Однако динамические нагрузки в режиме предохранительного торможения подъемной установки в ряде случаев достигают половины статической нагрузки натяжения каната [3]. Для учета влияния этих нагрузок на долговечность подъемного каната целесообразно применить скорректированную линейную гипотезу суммирования усталостных напряжений [5]:

$$\sum_i \frac{n_i}{N'_i} = a_p, \quad (5)$$

где n_i — число повторения амплитуд нагружения каждой из динамических нагрузок в отдельности до усталостного разрушения подъемного каната; a_p — сумма относительных долговечностей (ра-

венство единице соответствует классической линейной гипотезе Пальмгрена-Майнера).

В соответствии с (5) формула (4) примет вид

$$\frac{N_{\text{экс}}}{\sum_i v_i} \sum_i \frac{v_i}{N'_i} = a_p(1 - \mu). \quad (6)$$

Значение суммы относительных долговечностей определяется формулой [5]

$$a_p = \frac{1}{\sum_i v_i} \sum_i \frac{\sigma_{\text{э}i}}{\sigma_{\text{э}}^{\text{max}}}, \quad (7)$$

где $\sigma_{\text{э}i}$ — приведенная амплитуда напряжений, эквивалентная симметричному циклу нагружений; $\sigma_{\text{э}}^{\text{max}}$ — максимальная амплитуда напряжений среди всех приведенных амплитуд, которая ограничивает множество учитываемых напряжений в расчете на усталость.

В выражении (7) суммирование ведется по всем амплитудам $\sigma_{\text{э}i}$, так как все амплитуды напряжений принимаются повреждающими вследствие воздействия такого неблагоприятного фактора на усталость материала каната, как коррозия.

Асимметричные циклы напряжений, характерные при динамических нагрузках подъемного каната, приведем к эквивалентным симметричным по формуле [5]

$$\sigma_{\text{э}i} = \sigma_{ai} + \psi_{\sigma} \sigma_m, \quad (8)$$

где σ_{ai} — амплитуда изменения напряжений при динамической нагрузке; ψ_{σ} — коэффициент влияния асимметрии цикла; σ_m — среднее напряжение цикла нагружений.

Число циклов нагружения каната до разрушения N'_i в результате действия каждой из динамических нагрузок в отдельности определяется формулой [8]

$$N'_i = \alpha(\sigma_{ai}) N_{\text{ст}}(\sigma_m), \quad (9)$$

где $\alpha(\sigma_{ai})$ — коэффициент снижения долговечности каната при переменных растягивающих нагрузках; $N_{\text{ст}}(\sigma_m)$ — статическая долговечность каната при постоянных напряжениях σ_m без воздействия динамических нагрузок.

Аналитическое выражение динамического коэффициента снижения долговечности имеет вид [8]

$$\alpha(\sigma_{ai}) = 1 - 2 \sqrt{\frac{\sigma_{ai}}{\sigma_m^{\text{max}}} \left(1 - \frac{\sigma_{ai}}{\sigma_m^{\text{max}}} \right)}, \quad (10)$$

где σ_m^{\max} — наибольшие средние напряжения, включающие изгибные и растягивающие нагрузки.

Амплитуда изменения напряжений при каждой динамической нагрузке может быть определена экспериментально с помощью специальной аппаратуры, позволяющей найти амплитудное ускорение подъемного сосуда [3, 6]:

$$\sigma_{ai} = \frac{m_c a_i}{F_{\text{сеч}}}, \quad (11)$$

где m_c — масса груженого сосуда; a_i — амплитудное ускорение подъемного сосуда при действии i -й динамической нагрузки; $F_{\text{сеч}}$ — суммарная площадь сечения проволок каната.

Ускорение подъемного сосуда при каждом срабатывании предохранительного тормоза можно найти аналитически методом математического моделирования процесса предохранительного торможения [11], используя в качестве исходных данных информацию системы регистрации параметров ШПУ. Эту информацию можно использовать и для определения нагрузок, возникающих при пуске и торможении системы. Для оценки напряжений при равномерном движении подъемного сосуда существуют математические модели, рассматривающие поведение динамической системы "сосуд—армировка".

Наибольшие средние напряжения определяются суммой растягивающих σ_p и изгибающих $\sigma_{\text{и}}$ напряжений:

$$\sigma_m^{\max} = \sigma_p + \sigma_{\text{и}} = \frac{(m_c + pl)g}{F_{\text{сеч}}} + E_{\text{ст}} \frac{\delta}{D}, \quad (12)$$

где p — масса 1 м каната; l — длина каната; $E_{\text{ст}}$ — модуль упругости стали; δ — диаметр проволок каната; D — диаметр шкива.

Величина наибольших средних напряжений при динамических нагрузках среди всех режимов работы ШПУ определяет статическую долговечность каната $N_{\text{ст}}$. Подставив (9) в (6), вынесем величину $N_{\text{ст}}$ из-под знака суммы и получим выражение:

$$k_{\text{сн}} = \frac{N_{\text{экс}}}{N_{\text{ст}}(1 - \mu)} = \frac{a_p \sum_i v_i}{\sum_i \frac{v_i}{\alpha(\sigma_{ai})}}, \quad (13)$$

где $k_{\text{сн}}$ — коэффициент снижения эксплуатационной долговечности каната при учете воздействия динамических нагрузок.

Данный коэффициент показывает, во сколько уменьшается долговечность каната в числе подъемных циклов при воздействии динамических нагрузок по сравнению со статической долговечностью каната, которая соответствует упрощенному режиму нагружения каната растяжение—сжатие без возникновения дополнительных динамических нагрузок.

Для оценки влияния предохранительных торможений на долговечность подъемного каната определим коэффициент $k_{\text{сн}}$ при различных условиях. Выразим значение коэффициента снижения долговечности $k_{\text{сн.б}}$ в рабочем режиме, т. е. при воздействии динамических нагрузок от загрузки и разгрузки скипа, разгона, торможения и равномерного движения подъемной машины, но без учета динамических нагрузок от срабатывания предохранительного тормоза:

$$k_{\text{сн.б}} = \frac{a_{p.б} \sum_i v_i^{\text{б}}}{\sum_i \frac{v_i^{\text{б}}}{\alpha(\sigma_{ai}^{\text{б}})}}, \quad (14)$$

где $\sigma_{ai}^{\text{б}}$ — множество амплитуд напряжений от загрузки и разгрузки скипа, разгона, замедления системы и при равномерном движении подъемных скипов; $v_i^{\text{б}}$ — число раз воздействия каждой из амплитуд напряжений; $a_{p.б}$ — сумма относительных долговечностей, определяемая формулой (7) среди множества амплитуд $\sigma_{ai}^{\text{б}}$.

Определим этот же коэффициент при срабатывании предохранительного тормоза с учетом всех возникающих динамических нагрузок:

$$k_{\text{сн.тп}} = \frac{a_{p.тп} \left(\sum_i v_i^{\text{б}} + \sum_j v_j^{\text{тп}} \right)}{\sum_i \frac{v_i^{\text{б}}}{\alpha(\sigma_{ai}^{\text{б}})} + \sum_j \frac{v_j^{\text{тп}}}{\alpha(\sigma_{aj}^{\text{тп}})}}, \quad (15)$$

где $\sigma_{aj}^{\text{тп}}$ — множество амплитуд напряжений от срабатывания предохранительного тормоза; $v_j^{\text{тп}}$ — число раз воздействия каждой из амплитуд напряжений; $a_{p.б}$ — сумма относительных долговечностей, определяемая формулой (7) среди множества амплитуд $\sigma_{aj}^{\text{тп}}$.

Отношение коэффициентов $k_{\text{сн.б}}$ и $k_{\text{сн.тп}}$ показывает, во сколько раз снизится эксплуатацион-

ная долговечность каната при учете срабатываний предохранительного тормоза:

$$\beta = \frac{k_{\text{сн.тп}}}{k_{\text{сн.б}}} < 1. \quad (16)$$

Предположим, что один и тот же подъемный канат имеет эксплуатационную долговечность N_6 циклов подъема при работе ШПУ без срабатывания предохранительного тормоза и $N_{\text{тп}}$ подъемных циклов при наличии предохранительных торможений. Эксплуатационную динамическую долговечность канатов в этих различных условиях выразим через эксплуатационную долговечность каната без воздействия динамических нагрузок и коэффициенты снижения (14) и (15):

$$N_{\text{тп}} = k_{\text{сн.тп}} N_{\text{ст}} (1 - \mu), \quad (17)$$

$$N_6 = k_{\text{сн.б}} N_{\text{ст}} (1 - \mu). \quad (18)$$

Тогда в соответствии с формулой (16) соотношение циклов подъема при наложении предохранительного тормоза и циклов без предохранительного тормоза может быть выражено формулой

$$N_{\text{тп}} = \beta N_6. \quad (19)$$

Число срабатываний предохранительного тормоза за все время эксплуатации каната

$$q_{\text{тп}} = \frac{N_{\text{тп}}}{T_{\text{тп}}}, \quad (20)$$

где $T_{\text{тп}}$ — средняя периодичность срабатывания предохранительного тормоза, выраженная в числе циклов подъема, выполненных в нормальном режиме. Величина показывает, сколько циклов подъема в среднем приходится на одно предохранительное торможение.

Разность $N_6 - N_{\text{тп}}$ показывает величину, на которую уменьшается число циклов подъема при условии воздействия предохранительных торможений. Тогда одно предохранительное торможение будет в среднем приходиться на C обычных циклов подъема:

$$C = \frac{N_6 - N_{\text{тп}}}{q_{\text{тп}}} = T_{\text{тп}} \left(\frac{1}{\beta} - 1 \right). \quad (21)$$

Расчет возможного снижения эксплуатационной долговечности подъемного каната выполнен по рассматриваемой методике для одной из действующих скиповых ШПУ.

Технические характеристики ШПУ

Подъемные сосуды: 2 скипа.

Высота подъема $H = 483$ м.

Масса скипа и подвесной системы $m_c = 20\,000$ кг.

Масса полезного груза $m_r = 25\,000$ кг.

Масса 1 м каната $p = 17,8$ кг.

Модуль упругости стали каната $E_{\text{ст}} = 2,2 \cdot 10^{11}$ Н/м².

Диаметр проволок каната $\delta = 2,95 \cdot 10^{-3}$ м.

Суммарная площадь сечения проволок каната $F_{\text{сеч}} = 1,88 \cdot 10^{-3}$ м².

Диаметр копрового шкива $D = 5$ м.

Динамические характеристики движения подъемного сосуда в шахтном стволе получены специальной измерительной аппаратурой [6]. На рис. 2 (см. 4-ю стр. обложки) приведены графики скорости движения груженого скипа и динамической нагрузки подъемного каната, вызванной только колебаниями скипа без учета статической составляющей. Напряжение в проволоках каната определяется отношением усилия в канате к суммарной площади сечения проволок каната $F_{\text{сеч}}$. Амплитуды изменения напряжений в подъемном канате на различных этапах цикла подъема рассчитаны по формуле (11). Результаты вычислений сведены в табл. 1.

Величина наибольших средних напряжений, которые присутствуют на протяжении всего цикла подъема, составляет

$$\begin{aligned} \sigma_m^{\text{max}} &= \sigma_p + \sigma_{\text{и}} = 234 \cdot 10^6 + 129,8 \cdot 10^6 = \\ &= 363,8 \cdot 10^6 \text{ Па.} \end{aligned}$$

Коэффициент снижения $k_{\text{сн.б}}$, рассчитанный по формуле (14)

$$k_{\text{сн.б}} = 0,634.$$

Таким образом, динамические нагрузки, возникающие при нормальной работе ШПУ без учета срабатывания предохранительного тормоза, снижают долговечность каната на 36 % относительно

Таблица 1
Амплитуды изменения напряжений в подъемном канате на различных этапах цикла подъема

Этап подъемного цикла	Амплитуда напряжений σ_{ai}^b , МПа	Число раз воздействия каждой из амплитуд v_i
Загрузка сосуда	10	1
Разгон	16	2
Равномерное движение	8	10
Замедление	8	1
Остановка	8	1

Таблица 2

Амплитуды изменения напряжений в грузе канате при срабатывании предохранительного тормоза

Порядковый номер цикла нагружения каната	Амплитуда напряжений $\sigma_{aj}^{тп}$, МПа
1	65
2	54
3	46
4	40
5—11	Уменьшается с 35 до 20 МПа

теоретической долговечности, исключая влияние колебательных процессов при разгоне, замедлении и равномерном движении системы.

Для оценки долговечности каната, учитывающей предохранительное торможение, проведены измерения динамических нагрузок подъемного каната, возникающих при срабатывании предохранительного тормоза после остановки барабана подъемной машины [6]. Графики скорости движения грузевого скипа и динамической нагрузки, испытываемой подъемным канатом в этом режиме работы при подъеме груза на скорости 5 м/с, показаны на рис. 3 (см. 4-ю стр. обложки). Скип находился на глубине –300 м.

В табл. 2 приведены соответствующие значения амплитуд изменения напряжений в подъемном канате.

Анализ информации системы регистрации параметров работы ШПУ показал, что в среднем срабатывание одного предохранительного торможения при скорости движения более 1,5 м/с происходит каждые 300 циклов работы подъема. Предохранительное торможение возникает равновероятно как при подъеме левого скипа, так и при подъеме правого. Поэтому, если отдельно рассматривать нагрузки на левый подъемный канат, тормоз будет срабатывать каждые 600 циклов работы ШПУ при подъеме грузевого скипа, и с такой же периодичностью — при спуске порожнего скипа.

Отдельного рассмотрения требует вопрос, каким образом предохранительные торможения влияют на долговечность подъемного каната при спуске порожнего скипа и нужно ли их учитывать при оценке ресурса каната. Предохранительные торможения, произошедшие во время подъема груза, вызывают максимальные напряжения в подъемном канате за счет добавления к статической нагрузке динамической составляющей, в ряде случаев достигающей половины величины статиче-

ского усилия. Такие напряжения, безусловно, приводят к усталостному износу каната. При спуске порожнего скипа динамические колебания, возникающие в результате предохранительного торможения, могут вызвать ускорения большие, чем при колебаниях от предохранительного торможения при подъеме груза. Но амплитуды изменения усилия становятся меньше за счет меньшей массы концевой нагрузки.

На рис. 4 (см. 4-ю стр. обложки) представлен график изменения усилия в режиме предохранительного торможения при спуске порожнего скипа на скорости 4,4 м/с на глубине –440 м. Сравнив динамические усилия натяжения каната в режиме предохранительного торможения при подъеме грузевого скипа на рис. 3 и при спуске порожнего скипа на рис. 4, можно убедиться в том, что амплитуда динамических нагрузок при спуске порожнего скипа меньше на 30 % и не превышает 86 МПа, несмотря на большую глубину, на которой сработал тормоз. Средние напряжения подъемного каната, определяемые статической растягивающей концевой нагрузкой, составляют $\sigma_{m\text{сп}} = 103$ МПа. По абсолютной величине напряжения в поперечном сечении каната не превышают 190 МПа, что меньше средних растягивающих напряжений 234 МПа на любом из этапов подъемного цикла. Если привести асимметричные циклы нагружения каната к эквивалентным симметричным по формуле (8), то при коэффициенте влияния асимметрии цикла $\psi_6 = 0,2$ величина напряжений в режиме предохранительного торможения при спуске груза ограничена 66 МПа, что также меньше эквивалентных напряжений при подъеме груза, равных 80...85 МПа.

Таким образом, нагрузки в подъемном канате, возникающие при срабатывании предохранительного тормоза при спуске порожнего скипа, не достигают величины нагрузок при подъеме груза и просто составляют часть общего нагрузочного цикла спуск—подъем груза, не оказывая существенного влияния на долговечность каната.

Поэтому при определении долговечности каната с учетом влияния предохранительного торможения будем рассматривать предохранительные торможения, возникающие только при подъеме груза. Они происходят с периодичностью 600 подъемных циклов, т. е. $T_{тп} = 600$. Подставляя амплитуды напряжений из табл. 2, по формуле (15) определим коэффициент снижения:

$$k_{\text{сн.тп}} = 0,5.$$

Учет влияния предохранительных торможений снижает долговечность каната на 50 % относительно теоретической долговечности без учета любых динамических нагрузок. Предохранительные торможения вносят вклад в снижение усталостной прочности, определяемый коэффициентом

$$\chi = \frac{1}{\beta} - 1 = 0,267.$$

По формуле (21) в среднем одно предохранительное торможение соответствует $C = 160$ циклам подъема груза. Таким образом, динамические нагрузки подъемного каната при срабатывании предохранительного тормоза приводят к снижению срока службы канатов до 30 %.

В настоящее время большинство ШПУ рудников в РФ оснащено системами регистрации параметров их работы. Являясь достоверным источником исходных данных, эти системы позволяют автоматически определить при помощи математического моделирования амплитуду и количество динамических возмущений и учесть их при оценке долговечности подъемного каната.

Выполненные теоретические расчеты долговечности подъемного каната с учетом динамических нагрузок, испытываемых в рабочих режимах и при предохранительном торможении, показали, что каждое наложение предохранительного тормоза снижает долговечность подъемного каната. В этих условиях одним из путей увеличения долговечности канатов является снижение числа срабатываний предохранительного тормоза при подъеме груза. Число срабатываний предохранительного тормоза при работе ШПУ может быть существенно уменьшено с помощью анализатора защит, являющегося элементом регистратора параметров [12].

Анализатор защит позволяет определять причины срабатывания предохранительного тормоза, что помогает обслуживающему персоналу своевременно принимать меры, исключающие повторение срабатывания предохранительного тормоза. Системы регистрации параметров работы ШПУ предоставляют возможность объективной и надежной проверки исправности защит и блокировок при передаче смены. Документирование всех операций по управлению подъемной машиной повышает производственную дисциплину. Таким образом, системы регистрации параметров обес-

печивают снижение частоты срабатывания предохранительного тормоза, уменьшение динамических нагрузок на канат и другие элементы подъемной установки и увеличение их ресурса.

Список литературы

1. **Трифанов Г. Д., Князев А. А.** Внедрение приборов безопасности на действующих шахтных подъемных установках // Рудник будущего. Пермь: ЗУМК-Инжиниринг. 2010. № 4. С. 53–55.
2. **Трифанов Г. Д.** Расшифровка и анализ записей регистраторов параметров шахтных подъемных установок. Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2009. 154 с.
3. **Сергеев С. Т.** Надежность и долговечность подъемных канатов. Киев: Техника, 1968. 240 с.
4. **Степанов А. Г., Ольховиков Ю. П., Трифанов Г. Д.** Экспериментальные исследования динамики скипового подъема // Известия вузов. Горный журнал. 1982. № 3. С. 82–84.
5. **Когаев В. П.** Расчеты на прочность при напряжениях, переменных во времени / Под ред. А.П. Гусенкова. 2-е изд. М.: Машиностроение, 1993. 364 с.
6. **Ильин С. Р., Трифанов Г. Д.** Динамическая диагностика систем "сосуд—армировка" вертикальных шахтных стволов // Горное оборудование и электромеханика. 2009. № 8. С. 29–34.
7. **Бабенко А. Ф., Бекерский В. И.** К вопросу о динамической долговечности стальных канатов // Стальные канаты. Вып. 3. Киев: Техника. 1966. № 4. С. 140–145.
8. **Бабенко А. Ф., Бекерский В. И.** Учет влияния динамических нагрузок на долговечность стальных канатов // Стальные канаты. Вып. 4. Киев: Техника. 1967. № 4. С. 132–135.
9. **Федорова З. М., Курган О. И.** Методика расчета увеличения долговечности подъемных канатов при снижении динамических нагрузок при подъеме // Известия вузов. Горный журнал. 1978. С. 119–122.
10. **Единые правила безопасности при разработке рудных, нерудных и россыпных месторождений полезных ископаемых подземным способом (ПБ 03-553-03).** М.: Научно-технический центр по безопасности в промышленности, 2005. 200 с.
11. **Стрелков М. А., Кузнецов В. С.** Оценка остаточного ресурса шахтной подъемной установки с учетом информации регистратора параметров // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: сб. трудов VII Междунар. науч.-техн. конф. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2009. С. 108–112.
12. **Опыт эксплуатации шахтных подъемных установок, оснащенных регистратором параметров / Г. Д. Трифанов, А. А. Князев, М. Г. Трифанов, М. А. Стрелков // Горное оборудование и электромеханика. 2011. № 12. С. 6–11.**

А. П. Кошкин, науч. сотр., **М. С. Озорнин**, канд. техн. наук, доц.,
Г. Д. Трифанов, канд. техн. наук, доц., зав. кафедрой, ПНИПУ, г. Пермь
E-mail: kanat@pstu.ru

Роль технологических регламентов в практике проектирования и эксплуатации шахтных подъемных установок

Рассмотрены вопросы разработки технологических регламентов проектирования и эксплуатации шахтных подъемных установок, позволяющие учесть современные требования законодательства в области промышленной безопасности, достижения науки, техники и технологии.

Ключевые слова: шахтная подъемная установка, нормы технологического проектирования, эксплуатация, технологический регламент.

A. P. Koshkin, M. S. Ozornin, G. D. Trifanov

The Role of Process Procedures in the Practice of Design and Operation of Mine Hoisting Plant

The problems of the development of production schedules for design and operation of mine hoist installations, allowing to take into account modern requirements of the legislation in the field of industrial safety, advances in science, engineering and technology.

Keywords: mine hoist, standards for technological design, exploitation, production schedules.

Бесперебойная и ритмичная работа горнорудных предприятий в значительной степени зависит от нормальной работы шахтных подъемных установок.

В последние годы наблюдается тенденция строительства новых и реконструкции действующих шахтных подъемных установок горнорудных предприятий. Эти подъемные установки, как правило, оснащаются современными подъемными машинами с системой высоконапорных дисковых тормозов с регулируемым рабочим и предохранительным торможением. В качестве электропривода все более широкое применение находит безредукторный частотно-регулируемый привод с консольным креплением к коренному валу подъемной машины. Системы автоматического управления электропривода подъемной машины выполняются на основе микропроцессорных программируемых контроллеров. Эти системы строятся с элементами дублирования и включают в себя устройства самоконтроля исправности, позволяющие выдавать предупредительные сигналы при превышении допустимых величин или при отказе силового оборудования, позволяющие значительно сократить время на производство регламентных

работ по текущему обслуживанию. Подъемные установки оснащаются системами регистрации основных параметров работы, обеспечивающими сбор и архивацию необходимых параметров, включая производственную статистику. Системы автоматического управления интегрированы с общерудничной автоматизированной системой диспетчерского управления по протоколу Ethernet. Все более широкое применение находят многоканатные подъемные машины наземного расположения и подъемные машины системы Блеера. Загрузка подъемных сосудов осуществляется конвейер-дозаторами. Все возрастающая грузоподъемность и скорость движения подъемных сосудов предъявляют новые требования к устройству армировки стволов, устройствам загрузки—разгрузки и средствам защиты от зависания сосудов в стволе.

Требования к проектированию и эксплуатации шахтных подъемных установок содержатся более чем в 50 нормативных документах.

К основополагающим нормативным документам относятся Федеральные законы, указы Президента Российской Федерации, постановления Правительства Российской Федерации, нормативно-правовые акты федеральных органов исполни-

тельной власти, устанавливающие правовые основы и техническое обеспечение промышленной безопасности и технического регулирования.

К следующей группе нормативных документов относят нормы технологического проектирования, государственные стандарты, отраслевые правила безопасности, методические указания, инструкции, руководства и другие документы, конкретизирующие требования промышленной безопасности к разработке конструкторской, проектной и технологической документации. Они устанавливают правила эксплуатации зданий и сооружений, оборудования, машин и механизмов и ведения технологических процессов.

Кроме того, на каждом предприятии действует большое количество внутренних документов, регламентирующих вопросы эксплуатации шахтных подъемных установок.

Требования отраслевых нормативных документов весьма специфичны и связаны с прогрессом науки, техники и технологий. Их необходимо корректировать каждые 5 лет. В настоящее время сложилась ситуация, когда большинство нормативно-правовых документов не отвечает современным требованиям. Большинство действующих норм и правил разработано в 80-е гг. прошлого столетия. Регламентированные в них требования разработаны для других условий и другой техники и не учитывают достижения технического прогресса и требований современного законодательства.

Отставание отраслевой нормативной базы объясняется следующим:

— после распада СССР отраслевые министерства и ведомства были реформированы или ликвидированы. В результате научные учреждения и структуры, занимавшиеся проблемами в области шахтного подъема, свернули свою деятельность, большая часть из них осталась за пределами Российской Федерации;

— принятие закона "О техническом регулировании" [1] привело к блокированию усовершенствования нормативной базы. Замена привычных отраслевых правил безопасности специальными техническими регламентами ведется крайне низкими темпами;

— подчинение в период с 2008 по 2010 г. Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзора) Министерству природных ресурсов и экологии (МПР России) лишило его функции осуществлять нормативное регулирование в области промышленной безопасности, а МПР России не наделили

контрольными и надзорными функциями в области промышленной безопасности.

Таким образом, проектирование новых объектов и эксплуатация подвергнувшихся перевооружению действующих объектов по устаревшим нормам и правилам приводит к необходимости применения изживших себя технологий и оборудования и является одним из основных факторов, сдерживающих конкурентоспособность предприятий, эксплуатирующих шахтные подъемные установки. Уже сейчас российские горно-добывающие предприятия, изготовители оборудования, сервисные и другие подрядные организации серьезно отстают от зарубежных конкурентов во многом из-за того, что работают по несовременным правилам и нормам.

Какой же выход из сложившейся ситуации?

Действующие правила безопасности [2] предписывают разработку технологических регламентов на все основные виды производственной деятельности. Госгортехнадзором РФ введены в действие "Методические рекомендации о порядке разработки, согласования и утверждения регламентов технологических производственных процессов при ведении горных работ подземным способом" [3].

На основании этих рекомендаций должны разрабатываться технологические регламенты на проектирование и эксплуатацию шахтных подъемных установок. При разработке этих документов допускается возможность включения в их содержание нормативных требований с учетом конкретных горно-геологических, геотехнологических, экологических и других особенностей работы конкретного горнорудного предприятия и применяемой технологии и оборудования.

При невозможности выполнения норм и технических параметров, содержащихся в существующей нормативной документации, в технологических регламентах эти нормы могут корректироваться. В этом случае предложения новых скорректированных норм и технических решений сопровождаются разработкой компенсирующих мероприятий, позволяющих обеспечить выполнение работ без снижения требований промышленной безопасности.

Проекты технологических регламентов рассматриваются техническим советом горнорудных предприятий с привлечением всех специалистов, связанных с эксплуатацией шахтных подъемных установок. Утверждается технологический регла-

мент техническим руководителем горнорудного предприятия.

Утвержденный регламент проходит экспертизу промышленной безопасности в независимой экспертной организации, заключение которой регистрируется в Ростехнадзоре. Срок действия регламента устанавливается, как правило, на 5 лет. По окончании этого срока он подлежит переработке или переутверждению. Ввод в действие регламента осуществляется приказом по предприятию.

Технологический регламент, прошедший экспертизу промышленной безопасности и регистрацию в Ростехнадзоре, является единственным нормативным документом, устанавливающим нормы и правила проектирования и эксплуатации шахтных подъемных установок. Технологический регламент обязателен для исполнения всеми организациями, предприятиями, учреждениями, иными юридическими лицами, независимо от их организационно-правовых форм и форм собственности, а также физическими лицами, участвующими в проектировании и эксплуатации шахтных подъемных установок и оборудования стволов.

Исходя из вышеизложенного и в соответствии с рекомендациями [4] кафедрой "Горные и нефтепромысловые машины" Пермского национального исследовательского политехнического университета разработан ряд технологических регламентов на проектирование и эксплуатацию шахтных подъемных установок ряда строящихся и действующих горнорудных предприятий.

Технологический регламент содержит следующие разделы.

1. Общие положения. В этом разделе дается общая характеристика предприятия, определяются цели, область применения и объекты технического регулирования, приводятся основные термины и определения.

2. Требования к проектированию шахтных подъемных установок. Определяются фонд времени и режим работы подъемной установки; расположение элементов подъемной установки относительно ствола; выбор типа подъемной установки, системы электропривода, управления, контроля и защиты, стволовой сигнализации и связи, требование к их элементам и организации работы подъема; выбор оборудования ствола; требования к планировке здания и вспомогательному оборудованию.

3. Требования к производственным помещениям, техническим устройствам и технической документации. Определяются существенные требования к состоянию и оснащению производственных по-

мещений, порядок применения технических устройств и перечень обязательной нормативно-технической документации, утверждаемой руководством предприятия, а также действующих типовых инструкций, норм, правил и т.д., обязательных к руководству и выполнению персоналом, имеющим отношение к эксплуатации шахтных подъемных установок и стволов.

В этом же разделе определяется порядок внесения изменений в конструкцию оборудования, порядок продления срока службы технических устройств, отработавших нормативный срок службы. Формулируются требования по обеспечению резерва расходных материалов и быстроизнашивающегося оборудования (канатов, подвесных устройств, подъемных сосудов, копровых шкивов и т.д.).

Кроме того, особо выделяются требования по периодической проверке элементов подъемного комплекса, приводятся графики суточной работы подъема с указанием времени проведения работ по проверке и техническому обслуживанию оборудования подъемных установок и стволов, уборки помещений и обтирки оборудования.

В Приложении приведен образец регламента проверки защит и блокировок подъемных установок Siemag.

4. Обязанности и ответственность технического персонала, связанного с эксплуатацией шахтных подъемных установок. Действующие правила безопасности [2] возлагают всю ответственность за эксплуатацию шахтных подъемных установок на службу главного механика шахты. Однако эта служба по своему функциональному назначению отвечает только за работу механического оборудования. Ряд регламентных работ невозможно выполнить без привлечения служб главного энергетика и автоматизации шахты (проверка электропривода, систем управления, защит и блокировок), службы главного маркшейдера шахты (инструментальная проверка расположения элементов подъемной установки и профильная съемка стенок ствола и направляющих проводников в стволе). Поэтому в данном разделе определяется распределение функций и ответственности технического персонала, связанного с эксплуатацией шахтных подъемных установок и оборудования стволов. Описывается порядок взаимодействия между различными структурными подразделениями шахты.

Описывается структура участка, эксплуатирующего шахтный подъемный комплекс, уточняется

распределение обязанностей между руководителем участка, его заместителями, электромеханиками, в том числе сменными (дежурными) электромеханиками, мастерами по осмотру шахтных стволов и спуску грузов по стволу.

5. *Общие требования к производственному персоналу.* Уточняются требования к квалификации для всех категорий производственного персонала, порядок допуска к самостоятельной работе, объему и периодичности проверки знаний по профессии и промышленной безопасности, медицинскому освидетельствованию, определяется режим труда и отдыха.

6. *Технологические операции, выполняемые персоналом.* Определяются существенные требования по обеспечению безопасного выполнения различных технологических операций. Подробно расписываются действия всего технологического персонала — машинистов подъемных машин, сменных электромехаников, дежурных слесарей, ствольных, крепильщиков стволы и такелажников (стропальщиков) при выполнении операций по спуску—подъему людей, выдаче полезного ископаемого, выполнении плановых регламентных работ по техническому обслуживанию, спуску длинномерных и негабаритных грузов, взрывчатых веществ и т.д. Особо определяется порядок действия персонала в аварийных ситуациях.

7. *Техническое обслуживание и текущий ремонт.* Определяются перечень и периодичность работ по техническому обслуживанию и ремонту всех элементов шахтной подъемной установки. В Приложении к регламенту приводятся регламентные карты технического обслуживания и ремонта с описанием последовательности выполнения операций, технических требований к исправному оборудованию, профессии и числа исполнителей и средней продолжительности работ.

В связи с тем, что на многих предприятиях работы, связанные с техническим обслуживанием и ремонтом, переданы специализированным подрядным организациям в регламенте определяется порядок взаимодействия и допуска к выполнению этих работ при условии обеспечения требований промышленной безопасности.

В этом же разделе определяются порядок и объем производства ревизионных, наладочных, испытательных работ и инструментального и метрологического контроля оборудования, в том числе сторонними подрядными организациями.

8. *Порядок реализации положений технологического регламента.* Определяются порядок ввода в действие регламента, назначения ответственных за реализацию его положений, срок действия, внесения изменений.

Реализация технологических регламентов обеспечивает:

— систематизацию и гармонизацию действующих нормативных правовых актов, относящихся к проектированию и эксплуатации шахтных подъемных установок;

— систематизацию и упорядочение требований к техническим устройствам, применяемым на шахтных подъемных установках;

— повышение конкурентоспособности предприятия за счет применения современных технических устройств и оборудования на шахтных подъемных установках;

— снижение уровня травматизма в процессе эксплуатации, ревизии, техническом обслуживании и ремонте шахтных подъемных установок.

Таким образом, технический регламент позволяет обеспечить безусловное сохранение необходимой достаточности требований безопасности при проектировании и эксплуатации шахтных подъемных установок и творчески подойти к решению вопросов безопасности на конкретном предприятии, повышая ответственность производственного персонала за принимаемые решения.

В настоящее время по технологическим регламентам, разработанным с участием авторов, выполнены проекты шахтных подъемных установок строящихся калийных рудников, осуществляется эксплуатация подъема действующих рудников.

Список литературы

1. **О техническом** регулировании. Федеральный закон от 27.12.02 № 184-ФЗ // Российская газета. № 245. 31.12.2002.

2. **Единые** правила безопасности при разработке рудных, нерудных и россыпных месторождений полезных ископаемых подземным способом (ПБ 03-553—03). Утв. пост. Госгортехнадзора РФ 13.05.2003 № 30, зарег. в Минюсте РФ 28.05.2003. № 4600.

3. **Методические** рекомендации о порядке разработки, согласования и утверждения регламентов технологических производственных процессов при ведении горных работ подземным способом (РД 06-627—03). Утв. пост. Госгортехнадзора РФ 15.09.2003. № 108.

4. **Рекомендации** по разработке технических регламентов (Р 50.1.044—2003). Введены 01.07.2003. 74 с.

Регламент проверки защит и блокировок подъемных установок Siemag

№ пп	Наименование защит и блокировок	Периодичность проверки		Порядок проверки
		Еже-сменно	1 раз в сутки	
1	Проверка исправности кнопки "Аварийный стоп" на пульте (ПШП)	+	+	При остановленной машине взвести защиты. Нажать кнопку "Аварийный стоп" на ПШП. Произойдет наложение предохранительного тормоза (ТП), на мониторе видеотерминальной станции (ВТС) — появление сообщения о нажатии кнопки "Аварийный стоп" на ПШП. Вернуть кнопку "Аварийный стоп" в исходное состояние, нажать кнопку SB13 "Взвод защит"
2	Защита от переподъема (основного) и блокировки, позволяющей включать двигатель только в сторону ликвидации переподъема	+	+	При движении скипов в режиме "Ревизия" со скоростью 0,3 м/с проехать выше точного останова скипа 1. При этом наложится ТП, на мониторе ВТС — сообщение о переподъеме скипа 1 (основного). Перейти в режим "Обход защит", нажать кнопку SB13 "Взвод защит". Начать движение в режиме "Ручной" со скоростью 2 м/с в направлении дальнейшего переподъема. Произойдет запрет пуска, на мониторе — сообщение о неверно заданном направлении движения. Вернуть ручку КАР в нейтральное положение, нажать кнопку SB13 "Взвод защит", съехать с переподъема. Затем провести аналогичную проверку для скипа 2
3	Защита от переподъема (дублирующего) и блокировки, позволяющей включать двигатель только в сторону ликвидации переподъема	+	+	Скипы движутся в режиме "Ревизия" со скоростью 0,3 м/с при нажатой кнопке 2SB5 выше точного останова скипа 1. При этом наложится ТП, на мониторе ВТС — сообщение о переподъеме скипа 1 (дублирующего). Перейти в режим "Обход защит", нажать кнопку SB13 "Взвод защит". Начать движение в режиме "Ручной" со скоростью 2 м/с в направлении дальнейшего переподъема. Произойдет запрет пуска, на мониторе — сообщение о неверно заданном направлении движения. Вернуть ручку КАР в нейтральное положение, нажать кнопку SB13 "Взвод защит", съехать с переподъема. Затем провести аналогичную проверку для скипа 2
4	Запрет взвода защит при нахождении КРТ не в состоянии "заторможено"	+	+	Система в состоянии предохранительного торможения. Вывести КРТ из состояния "заторможено", чуть сдвинув его "от себя". Нажать кнопку "Квитирование" на ПШП, а затем кнопку "Взвод защит". Произойдет запрет взвода защит, на мониторе появится сообщение о том, что КРТ не в состоянии "заторможено". Вернуть КРТ в состояние "заторможено". Ввести защиты
5	Запрет взвода защит при КАР не в нулевом положении	+	+	Система в состоянии предохранительного торможения. Вывести КАР из нулевого положения. Нажать кнопку "Квитирование" на ПШП, а затем кнопку "Взвод защит". Произойдет запрет взвода защит, на мониторе появится сообщение что КАР не в нулевом положении. Вернуть КАР в нулевое положение. Ввести защиты
6	Проверка контроля за превышением обратного хода	+	+	Переключить выключатель "Блокировка защит" на ОСН. Скипы движутся в режиме "Ручной" со скоростью 2 м/с из середины ствола. Провести регламентную работу "Тест обратного хода". Машина будет двигаться в противоположном от заданного направлении. При превышении допустимой величины обратного хода наложится ТП, на мониторе ВТС появится сообщение о превышении обратного хода. Завершить регламентную работу, нажать кнопку SB13 "Взвод защит"

№ пп	Наименование защит и блокировок	Периодичность проверки		Порядок проверки
		Еже-сменно	1 раз в сутки	
7	Проверка режима "Настройка параметров с ОР77А" ОСН	+	+	При остановленной машине взвести защиты. Перейти в режим "Настройка параметров с ОР77А", нажав клавишу F1 на панели ОР77А ПШП. Наложение ТП. На мониторе ВТС — появление сообщения о выполнении настройки параметров. Закончить ввод параметров. Нажать кнопку SB13 "Взвод защит"
8	Превышение скорости от ШЗА	+	+	Скипы движутся в режиме "Ручной" со скоростью 2 м/с из середины ствола. Провести регламентную работу "Тест превышения скорости ШЗА". Произойдет наложение ТП, на мониторе ВТС — появление сообщения о превышении скорости. Завершить регламентную работу, нажать кнопку SB13 "Взвод защит"
9	Превышение скорости от ОСН	+	+	Скипы движутся в режиме "Ручной" со скоростью 2 м/с из середины ствола. Провести регламентную работу "Тест превышения скорости ОСН". Произойдет наложение ТП, на мониторе ВТС — появление сообщения о превышении скорости. Завершить регламентную работу, нажать кнопку SB13 "Взвод защит"
10	Защита от провисания струны каната и блокировки, позволяющей движение только в сторону ликвидации провисания струны каната	—	+	В режиме "Ручной" поставить скип 1 на балку и начать движение скипом 1 "Вниз" ("Вперед"). При провисании струны каната произойдет наложение ТП, на мониторе ВТС — сообщение о провисании струны каната скипа 1. Перейти в режим "Обход защит". Начать движение в сторону увеличения провисания струны каната. Произойдет запрет пуска. На мониторе появится сообщение о неверном направлении движения. Вернуть ручку КАР в нейтральное положение и начать движение в сторону устранения аварии. Затем провести аналогичную проверку для скипа 2
11	Защита от напуска каната и блокировки, позволяющей движение только в сторону ликвидации напуска каната	—	+	В режиме "Ручной" поставить скип 1 на балку и начать движение скипом 1 "Вниз" ("Вперед"). При напуске каната произойдет наложение ТП, на мониторе ВТС — сообщение о напуске каната скипа 1. Перейти в режим "Обход защит". Начать движение в сторону увеличения напуска каната. Произойдет запрет пуска. На мониторе появится сообщение о неверном направлении движения. Вернуть ручку КАР в нейтральное положение и начать движение в сторону устранения аварии. Затем провести аналогичную проверку для скипа 2
12	Блокировка расцепления муфты в любом режиме, кроме "Перестановка барабана"	—	+	При остановленной машине перейти в любой режим движения, кроме "Перестановка барабана". При этом наложится ТП, на мониторе ВТС — сообщение о том, что муфта расцеплена в любом режиме, кроме "Перестановка барабана". Перевести переключатель "Муфту расцепить" в исходное состояние, нажать кнопку SB13 "Взвод защит"
13	Блокировка от расцепления муфты на ходу	—	+	При движении со скоростью 0,3 м/с повернуть переключатель "Муфту расцепить". Произойдет форсированный останов электроприводом с замедления 1 м/с ² . На мониторе появится сообщение о неверных действиях машиниста (переключение муфты на ходу). Нажать кнопку SB13 "Взвод защит". Продолжить движение
14	Переключение КАР через нейтральное положение на ходу	—	+	Скипы движутся в режиме "Ручной" со скоростью 3 м/с. Резко перебросить КАР через нейтральное положение. Произойдет форсированный останов электроприводом с величиной замедления не более 1 м/с ² . На мониторе появится сообщение о переключении КАР через нейтральное положение. Нажать кнопку SB13 "Взвод защит". Продолжить движение

Г. Д. Трифанов, канд. техн. наук, доц., зав. кафедрой, А. А. Князев, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., М. Г. Трифанов, мл. науч. сотр., ПНИПУ, г. Пермь

E-mail: kanat@pstu.ru

Аппаратура контроля натяжения канатов шахтной подъемной установки "Тулым"

Приведены параметры аппаратуры "Тулым", обеспечивающей защиту от зависания в разгрузочных кривых и напуска каната в ствол. По результатам испытаний аппаратуры получено разрешение Ростехнадзора на применение на шахтных подъемных установках.

Ключевые слова: шахтная подъемная установка, защита от напуска каната.

G. D. Trifanov, A. A. Knyazev, M. G. Trifanov

The Monitoring Tension Rope Mine Hoist "Tulym"

Shows the parameters of the equipment "Tulym", providing protection from freezing in the unloading curves and the lapping of the rope to the trunk. According to the results of tests of equipment received permission RTN application in mine hoists.

Keywords: mine hoisting plant, protection vent rope.

По результатам приемочных испытаний на скиповой подъемной установке и на основании заключения экспертизы промышленной безопасности ООО "Инженерно-экспертный центр "Горняк" получено разрешение Ростехнадзора на применение аппаратуры контроля натяжения канатов шахтной подъемной установки "Тулым" в качестве защиты от напуска каната в стволе и от зависания сосудов в разгрузочных кривых (выполнение требований п. 360 б и з ПБ 03-553-03). В аппаратуре "Тулым" производства ООО "Региональный канатный центр" реализованы следующие функции:

контроль натяжения подъемных канатов одноканатных ШПУ;

защита ШПУ от напуска подъемных канатов при зависании подъемных сосудов в стволе шахты или разгрузочных кривых;

контроль степени загрузки и разгрузки подъемных сосудов.

Аппаратура "Тулым" (рис. 1) проводит одновременный контроль двух подъемных канатов. Измерения деформаций ведутся на несущих балках опор копровых шкивов, наиболее чувствительных к на-

Техническая характеристика аппаратуры "Тулым"

Диапазон измерения натяжения каната, кН	500
Минимальное измеряемое натяжение каната, кН	10
Порог срабатывания при ослаблении каната, не менее (% от конечной нагрузки)	30
Порог срабатывания при разгрузке скипа, не более (% от массы скипа)	10
Диапазон рабочих температур электронной части, °С	0...+55
Диапазон рабочих температур тезометрической части, °С	-40...+55
Влажность воздуха, %	5...98
Безопасная перегрузка, %	150
Максимальная перегрузка, %	200

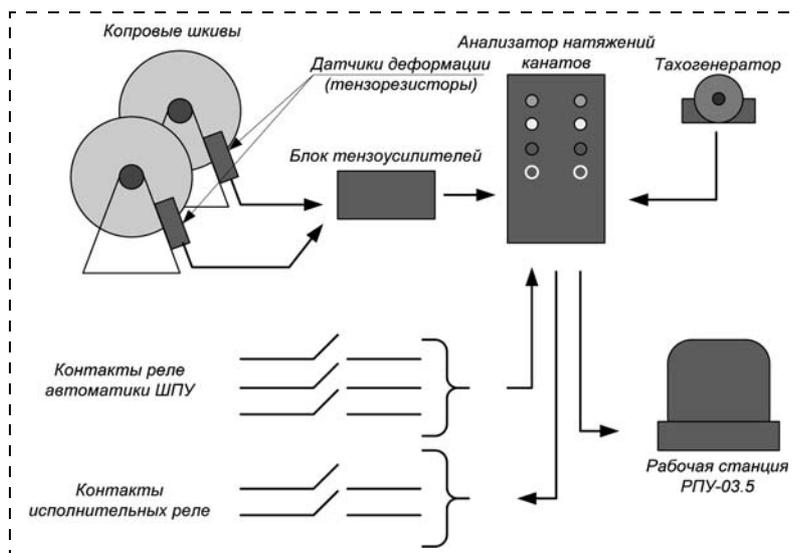


Рис. 1. Структурная схема аппаратуры "Тулым"

тяжению канатов. Тензорезисторы наклеены на поверхность балок и закрыты защитным корпусом. Блоки тензоусилителей установлены в помещении на копре на расстоянии не более 40 м от тензорезисторов. Анализатор натяжений канатов установлен в здании подъемных машин.

Аппаратура "Тулым" осуществляет постоянный контроль натяжения канатов: при уменьшении натяжения каната опускаемого сосуда до установленного предела срабатывает исполнительное реле, разрывающее цепь питания реле предохранительного торможения подъемной установки и вызывающее наложение предохранительного тормоза.

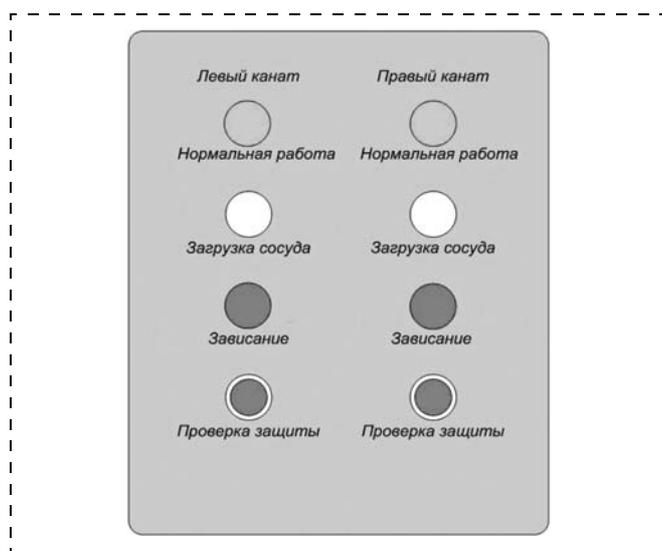


Рис. 2. Внешний вид анализатора натяжений канатов

Управление исполнительным реле запрета пуска машины происходит в том случае, когда подается сигнал на пуск машины при неполной разгрузке сосуда.

На передней панели анализатора натяжений канатов имеются шесть световых индикаторов, информирующих обслуживающий персонал подъемной установки о нормальной работе анализатора и об уровне натяжения подъемных канатов. Вид передней панели анализатора натяжений канатов приведен на рис. 2.

Зеленый индикатор постоянно горит при нормальной работе аппаратуры "Тулым". Если сигнал от тензодатчика выходит за допустимый диапазон, то соответствующий зеленый индикатор "Нормальная работа" мигает. В случае загрузки скипа рудой загорается желтый индикатор "Загрузка сосуда". При разгрузке скипа желтый индикатор мигает, а в случае полной разгрузки гаснет. При зависании сосуда и ослаблении каната загорается красный индикатор "Зависание" и срабатывает реле защиты. Снятие защиты происходит одновременным нажатием на кнопки "Проверка защиты". Если зависание сосуда не ликвидировано, то красный индикатор "Зависание" мигает до тех пор, пока натяжение каната будет не восстановлено. При нажатии кнопки "Проверка защиты" происходит подача напряжения на первичные датчики, срабатывает реле защиты. Проверка защиты возможна только на остановленной подъемной установке.

Вниманию участников "Недели горняка — 2013"!

По установившейся практике часть докладов рекомендуется семинарами: "Горные машины и оборудование", "Горно-транспортные машины и оборудование для переработки минерального сырья и защиты окружающей среды", "Электрификация и энергосбережение в горной промышленности", "Автоматизация технологических процессов и производств в горной промышленности", "Современные технологии в горном машиностроении" для публикации в журнале "Горное оборудование и электромеханика" в виде статей.

Учитывая, что число рекомендуемых докладов достаточно велико, а поступают они одновременно, рекомендуем направлять статьи заблаговременно непосредственно в редакцию журнала после предварительной консультации с руководителями семинаров и редакцией.

Требования и рекомендации по подготовке статей размещены на сайте журнала <http://novtex.ru/gormash>.

Главный редактор,
д-р техн. наук, проф. Л. И. Кантович

УДК 622.322.8

В. В. Габов, д-р техн. наук, проф., НМСУ "Горный", г. Санкт-Петербург,
Д. И. Шишлянников, доц., **Н. В. Чекмасов**, канд. техн. наук, доц., ПНИПУ, г. Пермь
E-mail: gvv40@mail.ru, 4varjag@mail.ru, mec@pstu.ru

Повышение эффективности отделения калийной руды от массива с использованием шахматной симметричной перекрестной схемы резания

Рассмотрен процесс разрушения калийного массива с использованием шахматной симметричной перекрестной схемы резания, исследованы влияние параметров срезов на процесс формирования последовательных элементарных сколов, составляющих срез, силовые и энергетические показатели процесса разрушения калийного массива.

Ключевые слова: калийная руда, комбайн, шахматная симметричная перекрестная схема резания, последовательный элементарный скол.

V. V. Gabov, D. I. Shishlyannikov, N. V. Chekmasov

Improving the Efficiency of Separation of Potash ore from the Array Using a Chess Symmetric Cross-Cutting Scheme

The process of destruction of potash array using chess symmetric cross-cutting scheme, the influence of parameters on the formation of sections of successive elementary chips that make the cut, weight and power characteristics of the process of destruction of potassium in the array.

Keywords: potash ore, mining machine, chess symmetrical cross-cutting scheme, successive elementary spalls.

Снижение удельных энергозатрат процесса резания, уменьшение средних значений и динамики нагрузок на резцах выемочных машин, снижение выхода мелких, небогатимых классов руды в продуктах отбойки являются наиболее важными факторами повышения эффективности процесса разрушения калийного массива резцами исполнительных органов добычных и проходческих машин. Актуальность решения этих задач периодически возрастает на каждом этапе развития техники и технологии подземной добычи, а эффективность решения зависит от глубины понимания процессов резания и накопленных результатов в развитии теории резания.

На современном этапе наиболее перспективным для развития теории резания представляется исследование закономерностей формирования последовательных элементарных сколов, составляющих любой срез, отражающих физическую сущность процесса резания калийной руды.

В настоящее время известны различные схемы резания калийного массива. Недостаточно изученной, на наш взгляд, остается перспективная шахматная симметричная перекрестная схема [1, 3], особенно в плане целенаправленного поиска способов снижения силовых нагрузок и энергетических затрат процесса резания посредством формирования в срезе последовательных сколов с устойчивыми рациональными значениями их геометрических параметров.

При реализации шахматной симметричной перекрестной схемы резания (рис. 1) калийный массив послойно разрушается взаимно-перпендикулярными резами, направленными вдоль осей OX и OZ . Обработка каждого последующего слоя массива осуществляется резами, заглубленными относительно резов предыдущего слоя на величину h_3 . Резы двух ближайших слоев, разрушаемых в одном направлении, располагаются таким образом, что резы последующего слоя разрушают выступы

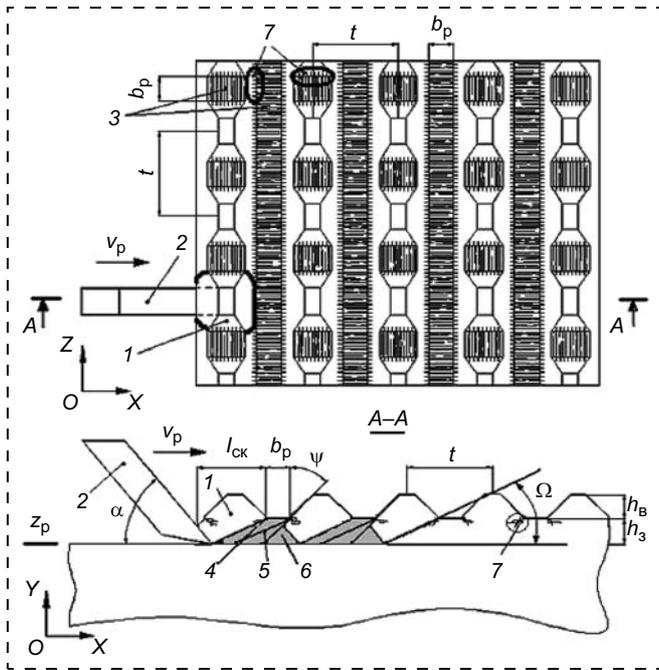


Рис. 1. Схема образования последовательных элементарных сколов в срезе при разрушении калийного массива перекрестными резами: 1 — сформированный элементарный скол с устойчивыми значениями геометрических параметров; 2 — резец; 3 — пересекающиеся резы; 4–6 — сколы мелкого элемента; 7 — зоны локализации наведенных трещиноватостей и концентрации напряжений

между резами предыдущего слоя и заглубляются относительно резов предыдущего слоя на величину $2h_3$. Таким образом, в каждом из направлений резания реализуется шахматная схема резания [1].

Геометрические параметры F_Φ сформированной поверхности определяются шагом резания t , заглублением h_3 пересекающихся резов, шириной режущей кромки используемого резца b_p :

$$F_\Phi = f(t, h_3, b_p). \quad (1)$$

Максимальная толщина среза h для симметричной перекрестной схемы равна:

$$h = h_3 + h_b, \quad (2)$$

где h_b — высота выступа, мм.

Рациональное расположение пересекающихся резов обуславливает формирование на поверхности калийного массива регулярных выступов, отделяемых в процессе дальнейшей отработки забоя единичными последовательными сколами 1 с устойчивыми значениями их геометрических параметров. Контуры основания выступов являются областями резкого формоизменения — зонами 7 концентрации напряжений и наведенных трещин.

Рациональный шаг перекрестных резов $t_{\text{рац.пер}}$, определяемый максимально возможной длиной

устойчивого скола в направлении резания и шириной режущей кромки резца b_p , рассчитывается по формуле:

$$t_{\text{рац.пер}} = k_\tau h + b_p = h_3(\text{tg}\Omega + \text{tg}\alpha) + b_p \approx (5\dots 7)h_3, \quad (3)$$

где Ω — угол скола крупного элемента длиной $l_{\text{ск}}$; α — угол резания.

Значение коэффициента k_τ определяется физико-механическими свойствами разрушаемой калийной руды и параметрами режущего инструмента:

$$k_\tau = f\left(\Omega, \alpha, \frac{\sigma_\tau}{\sigma_{\text{сж}}}\right), \quad (4)$$

где σ_τ — предел прочности калийной руды на сдвиг; $\sigma_{\text{сж}}$ — предел прочности руды на сжатие.

Таким образом, при перемещении резца на расстояние, равное шагу резания $t_{\text{пер}} \leq t_{\text{рац.пер}}$, неминуемо произойдет скол крупного элемента. Поэтому частота реализации крупных сколов при постоянной скорости движения резца может быть рассчитана по формуле:

$$f_1 = \frac{1}{T_1} = \frac{1}{(t_{\text{пер}}/v_p)} = \frac{v_p}{t_{\text{пер}}}, \quad (5)$$

где T_1 — время перемещения резца на расстояние, равное $t_{\text{пер}}$, с; v_p — скорость резания, м/с.

Разрушение участков массива, расположенных между регулярными выступами, сформированными перекрестными резами, осуществляется промежуточными сколами 4–6. Таких промежуточных сколов для симметричной перекрестной схемы резания может быть два или три, причем геометрические параметры промежуточных сколов случайны. Формирование сколов сопровождается дроблением и пластическим деформированием руды. Сколы 1 и 4 устойчивые, так как имеются обнаженные поверхности и контуры концентраторов напряжений, скол 5 выражен менее четко, а скол 6 может быть идентифицирован как скол в стопорном режиме или смятие. Учитывая, что $t_{\text{рац.пер}} = h_3(\text{tg}\Omega + \text{tg}\alpha) + b_p \approx 3b_p$, частота реализации промежуточных сколов может быть рассчитана по формуле:

$$f_2 = \frac{1}{T_2} = \frac{v_p}{3b_p} \frac{b_p}{h_3} = \frac{v_p}{3b_p} k_{3.3}, \quad (6)$$

где T_2 — время реализации промежуточных сколов, с; $k_{3.3}$ — коэффициент взаимного обнажения забоя.

При разрушении калийного массива шахматными перекрестными резами с шагом резания $t_{\text{пер}} \leq t_{\text{рац.пер}}$ отделение сформированного регулярного скола от массива осуществляется не только посредством образования и дальнейшего развития новых магистральных трещин. В области напряженного состояния, формируемой каждым резцом, создаются условия для развития трещин поперечного сдвига, что обуславливает реализацию имеющихся в массиве наведенных трещин, локализованных по контуру основания регулярных выступов, и определяет снижение удельных энергозатрат на создание и ветвление излишних микротрещин в процессе резания. Формирование регулярных сколов заданной формы и крупности, составляющих существенную часть добываемой руды, обуславливает уменьшение количества мелких, небогатимых фракций в продуктах отбойки.

Экспериментальная проверка теоретических выводов была осуществлена на специально созданном лабораторном стенде [4] в ходе сравнительных исследований многофакторного процесса формирования последовательных элементарных сколов при разрушении блоков калийной руды полноразмерным резцом традиционными шахматными и шахматными перекрестными резами. Методикой экспериментальных исследований предусматривалось измерение силы резания, скорости и перемещения резца во времени. Параметры схемы резания: $h_3 = 5$ мм, $t = 35$ мм, $b_p = 10$ мм. Выбор данных параметров обуславливался прочностными характеристиками стенда, степенью взаимного влияния соседних резов (в соответствии с отраслевой методикой ВНИИГ [2] при $t/h_3 \geq 7,2$ — рез заблокированный) и геометрическими параметрами эталонного резца соответственно. Учитывая, что зависимость силы резания от величины заглубления резца в массив имеет линейный характер, полученные данные можно экстраполировать на все множество параметров $t : b_p : h_3 = 7 : 2 : 1$. После реализации каждого реза осуществлялся сбор продуктов разрушения, их взвешивание и определение гранулометрического состава. Расчет удельных энергозатрат процесса резания осуществлялся по известной формуле [2]:

$$H_w = 0,0272 \frac{P_z L \rho}{G}, \quad (7)$$

где H_w — удельные энергозатраты процесса резания, кВт · ч/м³; L — длина среза, см; G — масса продуктов разрушения, г; ρ — плотность калийной руды в массиве, г/см³.

Обработка осциллограмм процесса резания (графиков изменения силы резания P_z во времени) калийного массива шахматными и шахматными перекрестными резами осуществлялась с использованием методов спектрального анализа.

Полученные в результате экспериментальных исследований данные подтверждают большую эффективность шахматной симметричной перекрестной схемы резания по сравнению с шахматной схемой: средние нагрузки на резец снизились на 34 % ($P_{z\text{пер}} = 1910$ Н, $P_{z\text{шахм}} = 2564,8$ Н), удельная энергоемкость процесса резания калийной руды уменьшилась на 15 % ($H_{w\text{пер}} = 1,46$ кВт · ч/м³, $H_{w\text{шахм}} = 1,75$ кВт · ч/м³).

Анализ графиков спектральной плотности $Q(t)$ процесса разрушения калийного массива шахматными резами подтверждает, что при использовании шахматной схемы резания явно выделяется спектр на полосах частот близких к 3 Гц, что характеризует частоту формирования крупных сколов (рис. 2, а). При анализе осциллограмм шахматных перекрестных резов спектр явно выделяется на полосах частот 3 и 8 Гц (см. рис. 2, б), что характеризует частоты формирования устойчивых регулярных сколов и мелких сколов со случайными значениями параметров. Дисперсия нагрузок на резце при использовании шахматной симметричной перекрестной схемы резания меньше в 1,41 раза по сравнению с шахматной схемой резания при одинаковых параметрах резания, так как отделение

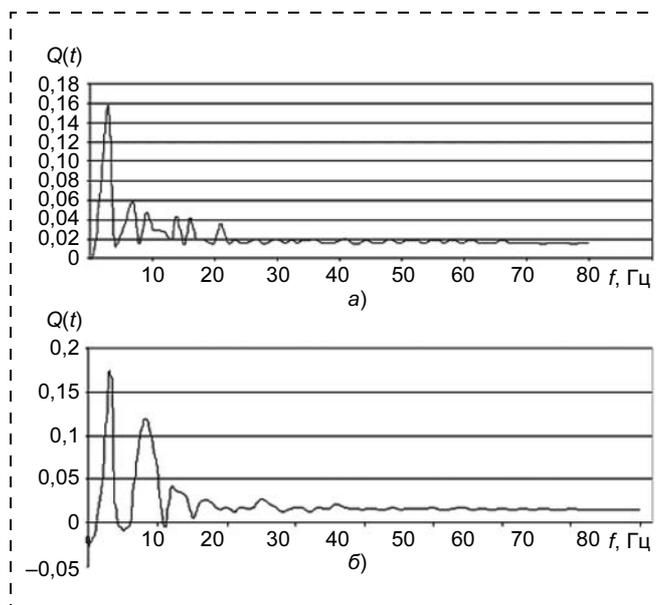


Рис. 2. Спектральная плотность $Q(f)$ процесса разрушения калийного массива резами: а — шахматными; б — шахматными перекрестными

крупных сколов руды от массива осуществляется с реализацией наведенных трещин.

Формирование устойчивых сколов с заданными значениями их геометрических параметров при реализации шахматной симметричной перекрестной схемы резания обусловило уменьшение выхода мелких необогатимых классов в 2 раза (2 % — для шахматной симметричной перекрестной схемы резания, 4 % — для шахматной схемы резания) по сравнению с шахматной схемой резания.

Таким образом, создание рациональной формы поверхности разрушаемого забоя, характеризующейся наличием чередующихся регулярных выступов и зон ослаблений, при использовании шахматной симметричной перекрестной схемы резания калийного массива обуславливает:

возможность активного влияния на частоту формирования и геометрические параметры последовательных регулярных сколов, составляющих срез;

снижение средних значений и динамики нагрузок на резцах выемочных машин;

снижение удельных энергозатрат процесса резания калийной руды и уменьшения выхода мелких, необогатимых классов в продуктах отбойки.

Список литературы

1. **Габов В. В., Чекмасов Н. В., Бурак А. Я., Шишлянников Д. И.** Исследование процесса формирования элементарных сколов при разрушении калийных солей перекрестными резами // Горное оборудование и электромеханика. 2011. № 8. С. 42—43.
2. **Комбайны** проходческо-очистные для добычи калийных руд. Выбор показателей назначения и расчет параметров разрушения горных пород. Отраслевая методика. Л.: ВНИИГ, 1986. 31 с.
3. **Старков Л. И., Харламова Н. А.** Исследование схемы перекрестного резания // Горный журнал. Известия вузов. 1997. № 7—8. С. 74—76.
4. **Шишлянников Д. И.** Стенд для исследования процесса формирования последовательных элементарных сколов при разрушении калийных солей перекрестными резами // Горный журнал. Известия вузов. 2012. № 4. С. 88—92.

ИНФОРМАЦИЯ

Указатель статей, опубликованных в журнале в 2012 г.

ПОДЗЕМНЫЕ РАБОТЫ

Габов В. В., Шишлянников Д. И., Чекмасов Н. В. Повышение эффективности отделения калийной руды от массива с использованием шахматной симметричной перекрестной схемы резания. № 11.

Дмитрак Ю. В., Картавый А. Н., Картавый Н. Г., Серов В. А. Разработка малозахватных рабочих органов выемочных агрегатов типа ВСА для маломощных угольных пластов. № 7.

Пастоев И. Л., Калинин М. М. Способ получения непрерывного поступательного движения горной машины с помощью гидроцилиндров циклического действия. № 3.

Пушкарев А. Е., Король В. В. Оценка эффективности оснащения струговой установки гидромеханическими резами. № 3.

Талеров К. П. Особенности определения производительности очистных механизированных комплексов, оборудованных выемочными модулями для проведения ниш. № 3.

Хорешок А. А., Цехин А. М., Борисов А. Ю. Влияние условий эксплуатации горных комбайнов на конструкцию их исполнительных органов. № 6.

Юнгмейстер Д. А., Лавренко С. А., Иванов А. В. Анализ использования проходческого комбайна в составе комплекса КПШ-6 в условиях шахт ОАО "Метрострой" (Санкт-Петербург). № 3.

Юнгмейстер Д. А., Лавренко С. А., Исаев А. И., Иванов А. В. Использование погрузочно-доставочных машин на шахтах Метростроя. № 9.

ОТКРЫТЫЕ РАБОТЫ

- Линник В. Ю.** Сравнительный анализ технико-экономических показателей работы отечественных и зарубежных очистных комплексов. № 1.
- Линник Ю. Н., Линник В. Ю.** Анализ состояния добычи угля открытым способом в России. № 10.

БУРОВЫЕ РАБОТЫ

- Комиссаров А. П., Фролов С. Г., Прокопович Г. В.** Влияние конструкции породоразрушающего инструмента на эффективность ударного бурения. № 8.
- Медведков В. И., Сидоренко А. А., Ланков П. Ю.** Механогидравлический снаряд для проведения скважин. № 5.
- Страбыкин Н. Н., Пеплов Е. В.** Обоснование, выбор конструктивных и режимных параметров, эффективность применения агрегированного породоразрушающего бурового инструмента. № 6.
- Шигин А. О., Гилёв А. В.** К вопросу о нагрузках на породоразрушающий инструмент при бурении сложноструктурных горных пород. № 6.

ГОРНЫЙ ТРАНСПОРТ

- Кириченко А. И., Держинский В. А., Картавый А. Н.** Мощный крутонаклонный транспортный агрегат для карьера "Мурунтау" Навоийского ГК. № 1.
- Мулухов К. К., Беслекова З. Н.** Синтез механизма управления прижимными элементами крутонаклонного ленточно-колесного конвейера для крупнокузовых грузов. № 3.
- Тарасов Ю. Д.** Усовершенствованные схемы приемных площадок надшахтных зданий с обменом вагонов. № 5.
- Тарасов Ю. Д., Александров В. И.** Транспортные машины непрерывного действия для транспортирования крупнокузовой горной массы. № 3.

ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА. АВТОМАТИЗАЦИЯ

- Афанасьев А. И., Косенко Е. А., Суслов Д. Н., Чиркова А. А.** Статическая тяговая характеристика линейного электромагнитного двигателя постоянного тока для авторезонансных вибротранспортных машин. № 9.
- Карташев И. И., Тульский В. Н., Кузнецов Н. М., Симуткин М. Г., Насыров Р. Р.** Оценка работы фильтров в системе электроснабжения горно-добывающего предприятия по результатам контроля качества электроэнергии. № 7.
- Костарев И. А., Сапунков М. Л., Худяков А. А.** Исследование и оценка возможности применения защиты

от однофазных замыканий, основанной на контроле пульсирующей мощности, в компенсированных сетях горных предприятий. № 11.

- Мазнев А. С., Баранов В. А.** Влияние способа возбуждения тяговых двигателей на характеристики боксования электровозов постоянного тока. № 3.
- Малафеев С. И., Новгородов А. А., Серебренников Н. А.** Новый экскаватор ЭКГ-18Р: система приводов постоянного тока с широтно-импульсным регулированием. № 6.
- Микитченко А. Я., Сафошин В. В., Греков Э. Л., Могучев М. В., Шевченко А. Н., Жирков А. А., Шоленков А. Н., Шевченко Д. Р., Филимонов С. И., Бессонов В. Г.** Создание низковольтных комплектных устройств на базе системы "тиристорный преобразователь—двигатель" для серии электрических экскаваторов. № 5.
- Микитченко А. Я., Сафошин В. В., Греков Э. Л., Могучев М. В., Шевченко А. Н., Жирков А. А., Шоленков А. Н., Шевченко Д. Р., Филимонов С. И., Бессонов В. Г.** Влияние на сеть и энергетика низковольтных комплектных устройств для серии электрических экскаваторов, выполненных на базе системы "тиристорный преобразователь—двигатель". № 7.
- Певзнер Л. Д., Бабаков С. Е.** Алгоритмизация управления движением ковша экскаватора в режиме черпания с применением нечеткой логики. № 9.
- Сапунков М. Л., Худяков А. А., Костарев И. А.** Об эффективности защиты распределительных сетей 6—35 кВ от однофазных замыканий, основанной на контроле пульсирующей мощности, при перемежающейся дуге. № 11.
- Седунин А. М., Николаев А. В., Седнев Д. Ю.** Электропривод главной вентиляторной установки нефтешахты, регулируемый с учетом действия общешахтной естественной тяги. № 11.
- Семенов М. А., Иванов С. Л.** Шахтная оперативная и аварийная беспроводная связь. № 8.
- Семыкина И. Ю.** Современное состояние и тенденции развития энергосберегающих электроприводов горных машин. № 9.
- Трифанов М. Г., Барашков Д. В.** Ограничитель скорости ОС-5. № 11.

СТАЦИОНАРНЫЕ УСТАНОВКИ

- Горелкин И. М.** Полимерные трубы в шахтном водоотливе. № 8.
- Самуся В. И., Ильина С. С.** Влияние параметров роликовых направляющих на контактные нагрузки в системе "сосуд—армировка" шахтных стволов с нарушенной геометрией. № 1.

ШАХТНЫЕ ПОДЪЕМНЫЕ УСТАНОВКИ

- Винокуров В. Е., Князев А. А.** Снижение массы магнитной системы канатного дефектоскопа на основе численного моделирования. № 11.
- Кошкин А. П., Озорнин М. С., Трифанов Г. Д.** Роль технологических регламентов в практике проектирования и эксплуатации шахтных подъемных установок. № 11.
- Трифанов Г. Д., Стрелков М. А.** Оценка влияния предохранительного торможения на долговечность стального каната шахтной подъемной установки. № 11.
- Трифанов Г. Д., Князев А. А., Трифанов М. Г.** Аппаратура контроля натяжения канатов шахтной подъемной установки "Тулум". № 11.

МАШИНОСТРОЕНИЕ

- Болобов В. И., Бочков В. С., Сюй Цинянь.** Износостойкость стали Гадфильда при больших удельных нагрузках. № 10.
- Горлов В. В., Сурина Н. В.** Анализ влияния погрешностей профиля зуба на нагрузочную способность цилиндрических зубчатых колес. № 10.
- Сербин В. М.** Повышение износостойкости рабочих органов спиральных классификаторов малых типов-размеров. № 6.
- Страбыкин Н. Н., Горячкин В. М.** Основные направления технической политики в области развития экскаваторостроения для карьеров. № 3.
- Сурина Н. В., Казакова О. В.** Пути повышения надежности зубчатых колес трансмиссий очистных комбайнов. № 7.
- Хорошавин С. А., Шестаков В. С.** Определение параметров экскаватора с рабочим оборудованием "прямая лопата" при эскизном проектировании. № 9.
- Черкашин В. П.** Выбор параметров концевой фрезы с равной стойкостью боковых и торцовых режущих лезвий для обработки звезд движителей механизмов подачи. № 10.

РЕМОНТ. ДИАГНОСТИКА

- Андреева Л. И., Красникова Т. И., Андреев А. А., Хан К. О.** К вопросу мониторинга условий эксплуатации и технического состояния экскаваторов циклического действия. № 5.
- Булатбаев Ф. Н., Мехтиев А. Д., Булатбаева Ю. Ф.** Метод восстановления втулок рычажной передачи тормозного устройства шахтных подъемных машин. № 7.
- Варфоломеев Ю. К., Розенбаум С. А.** Опыт организации работы ремонтных подразделений в филиале ОАО "СУЭК-Красноярск" "Разрез Березовский-1". № 7.
- Кравченко В. М., Сидоров В. А., Буцукин В. В.** Классификация повреждений зубчатых передач. № 7.

- Сергеев В. Ю.** Зависимость технической готовности одноковшовых экскаваторов и затрат на их техническое обслуживание от выбора тактики проведения планово-предупредительных ремонтов. № 10.

НАДЕЖНОСТЬ. ДОЛГОВЕЧНОСТЬ

- Балдаев Л. Х., Балдаев С. Л., Маньковский С. А.** Применение газотермических методов для восстановления и упрочнения деталей бурового и добывающего оборудования с целью повышения срока эксплуатации. № 8.
- Валиев Н. Г., Апакашев Р. А., Симисинов Д. И., Лагунова Ю. А.** Применение технологии целенаправленного формирования микро- и нанокристаллической структуры конструкционной стали для повышения ресурса режущей цепи камнерезной машины. № 8.
- Кравченко В. М., Сидоров В. А., Буцукин В. В.** Повреждения зубчатых передач вследствие воздействия внутренних факторов. № 9.
- Островский М. С., Алексеев М. В.** Повышение фреттингостойкости подшипниковых узлов горных машин. № 9.
- Рахутин М. Г., Панкратенко Н. А.** Обоснование номенклатуры показателей надежности тоннелепроходческого комплекса для проходки эскалаторного тоннеля. № 9.

НАУЧНЫЕ И КОНСТРУКТОРСКИЕ РАЗРАБОТКИ

- Александров В. И., Махараткин П. Н., Авксентьев С. Ю.** Энергоемкость гидравлического транспортирования крупнодисперсных и мелкодисперсных гидросмесей. № 6.
- Болобов В. И., Баталов А. П., Бочков В. С.** Обоснование возможности эффективного наклепа стали Гадфильда в условиях работы футеровок шаровых мельниц. № 1.
- Варнава А. В., Жуков И. А.** К разработке методики расчета напряженно-деформированного состояния секции става шахтного скребкового конвейера. № 8.
- Гринберг Я. П., Соловьев В. С.** Методика исследования нагрузок привода горных комбайнов. № 10.
- Жуков И. А.** Синтезирование геометрии бойка ударной системы по линейной форме падающего ударного импульса. № 10.
- Зедгенизов В. Г., Аль-Саккаф Халед Саед Таха.** Некоторые закономерности разрушения горных пород при ударном взаимодействии клиновидного инструмента с негабаритом. № 8.
- Исаков В. С., Балашов В. Б.** Результаты экспериментальных исследований дробильно-измельчающих машин с напряженной замкнутой кинематической структурой. № 5.

Кантович Л. И., Вагин В. С. Влияние системы привода на динамические нагрузки передвижных проходческих подъемных установок. № 6.

Красюк А. М., Русский Е. Ю. Влияние возмущений от воздушного потока на НДС основных узлов ротора вентилятора главного проветривания. № 7.

Мерзляков В. Г., Бафталовский В. Е., Черных Б. А. Результаты экспериментальных исследований влияния полимерных добавок в рабочую жидкость на эффективность резания горных пород струями воды высокого давления. № 8.

Мехтиев А. Д., Югай В. В., Эм Г. А. Использование наукоемких технологий для повышения прочности конструкций горных машин, находящихся в длительной эксплуатации. № 5.

Минин А. А. Буровой секционный модуль для фронтальной зарубки очистных комбайнов. № 5.

Немцов М. В., Трифанов Г. Д. К вопросу о метрологическом обеспечении магнитной дефектоскопии стальных канатов. № 1.

Павленко М. В. Применение технических средств вибрационной стимуляции движения потоков жидкости в трещиноватой среде угольного пласта. № 10.

Пасынков Д. А., Шестаков В. С. Разработка модели спуско-подъемного комплекса буровых установок. № 7.

Сапожников А. И., Габов В. В., Червяков С. А., Голованов А. В. Повышение энергоэффективности измельчения строительных материалов и горных пород при использовании вибрационной дробилки-мельницы. № 10.

Сарычев В. И., Пушкарев А. Е., Рогачев А. А., Пушенко А. В. Математическая модель и имитационное моделирование взаимодействия исполнительного органа прокалывающей установки с грунтовым массивом. № 6.

Суслов Н. М. Разработка перспективных схем механизмов шагания экскаваторов с гидроприводом. № 5.

Шемякин С. А., Иванченко С. И., Чебан А. Ю., Белов В. Е. Соппротивление копанью скрепером с импульсными колебаниями ковша. № 8.

Шешко Е. Е., Терехов С. А. Обоснование формы роликоопоры крутонаклонного конвейера с прижимной лентой для горных предприятий. № 1.

ДРОБИЛЬНО-РАЗМОЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Лагунова Ю. А., Червяков С. А. Эффективность дробления рудных материалов. № 5.

ОБОГАТИТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Аннов А. А. Расчет производительности люминесцентных сепараторов. № 1.

Яковлев В. Н., Макалин И. А. Этапы развития и пути совершенствования процесса рентгенолюминесцентной сепарации. № 1.

РАЗРАБОТКА ТОРФЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Елифанцев К. В. Обоснование геометрических параметров фильер матрицы торфяной формующей машины. № 8.

РАЗРАБОТКА РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Мамаев Ю. А., Хрунина Н. П. Совершенствование технологии дезинтеграции высокоглинистых золото-содержащих песков россыпей. № 8.

ТРАНСПОРТ

Стрельцов С. В. Гидравлическая система торможения механизма передвижения мостового перегружателя с индивидуальным приводом рабочих колес. № 10.

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

Махно Д. Е. Закономерности и пути снижения вероятности хрупких разрушений конструкций при эксплуатации оборудования в экстремальных условиях. № 3.

ЛИЧНОСТИ...

К 100-летию со дня рождения. Братченко Борис Федорович. № 10.

ИНФОРМАЦИЯ

Лагунова Ю. А. Основные тезисы II Международной научно-практической конференции "Техгормет-21 век". № 5.

Рецензии на статью Ю. В. Дмитрака, А. Н. Картавого, Н. Г. Картавого, В. А. Серова "Разработка малозахватных рабочих органов выемочных агрегатов типа ВСА для маломощных угольных пластов". № 8.

Трифанов Г. Д. XI Международная научно-техническая конференция "Производство и эксплуатация стальных канатов – проблемы и решения". № 10.

Указатель статей, опубликованных в журнале "Горное оборудование и электромеханика" в 2011 г. № 1.

ТЕМАТИЧЕСКИЕ ВЫПУСКИ

№ 2. Тематический выпуск,
посвященный Тульскому региональному отделению
Академии горных наук

РАЗРАБОТКИ И ИССЛЕДОВАНИЯ ТУЛЬСКОГО РЕГИОНАЛЬНОГО ОТДЕЛЕНИЯ АКАДЕМИИ ГОРНЫХ НАУК В ОБЛАСТИ ГОРНЫХ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ

- Жабин А. Б., Щеголевский М. М., Пушкарев А. Е.** Тульскому региональному отделению Академии горных наук – 15 лет!
- Жабин А. Б., Поляков Ан. В., Поляков Ал. В., Головин К. А., Антипов Ю. В.** Разработка, создание и испытания системы высоконапорного орошения для проходческого комбайна КП21.
- Семенов В. В., Шмакин И. Г., Жабин А. Б., Чеботарев П. Н.** Результаты сравнительных исследований исполнительных органов комбайнов "Мариятта-900А" и "Урал-20Р".
- Жабин А. Б., Поляков Ан. В., Поляков Ал. В., Фомичев А. Д., Антипов Ю. В.** Расчет роторного исполнительного органа тоннелепроходческого механизированного комплекса КТПМ-6.0.
- Потапенко В. А.** Механизированные крепи для выемки угля с закладкой выработанного пространства.
- Головин К. А., Лежебоков А. В., Леонтьев Н. С., Пушкарев А. Е.** Особенности определения режимов работы гидросъемников высокого давления на установках гидроструйной цементации.
- Задков Д. А., Банников А. А., Шишлянников Д. И., Талеров К. П., Головин К. А.** Способ отделения угля от массива при отработке трещиновато-слоистых угольных пластов.
- Семенов В. В., Шмакин И. Г., Жабин А. Б., Чеботарев П. Н.** Установление связей предела прочности калийных руд на сжатие с показателями их сопротивляемости резанию.
- Пивнев В. А.** Повышение производительности и энергоэффективности электровозной откатки.
- Ушаков Л. С.** К истории внедрения импульсных технологий в горном деле.

Лукиенко Л. В., Исаев В. В., Головин К. А. Применение вычислительного эксперимента для исследования процесса изнашивания тяжело нагруженных зубчато-реечных передач.

№ 4. Тематический выпуск,
посвященный ООО "Скуратовский
опытно-экспериментальный завод"

ПРЕДСТАВЛЯЕМ ООО "СКУРАТОВСКИЙ ОПЫТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ ЗАВОД"

- Антипов В. В.** СОЭЗ: Вчера, сегодня, завтра.
- Антипов Ю. В.** Обзор оборудования, серийно выпускаемого Скуратовским опытно-экспериментальным заводом.
- Никитин Г. А., Зубков А. Н., Наумов Ю. Н.** Технологические возможности Скуратовского опытно-экспериментального завода.

ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСКИЕ РАЗРАБОТКИ. ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ

- Антипов В. В., Антипов Ю. В., Наумов Ю. Н.** Комплекс КТПМ-5,6/6,0: Новый шаг в проектировании отечественной техники для строительства тоннелей для метрополитенов.
- Жабин А. Б., Поляков Ан. В., Поляков Ал. В., Фомичев А. Д., Антипов Ю. В.** Расчет роторного исполнительного органа тоннелепроходческого механизированного комплекса КТПМ-6,0.
- Рыбаков А. С., Наумов Ю. Н.** Разработка системы определения пространственного положения головной секции става грунтопроходческой машины.
- Кузичкин А. Н., Таранькин С. Ю.** Некоторые вопросы обеспечения герметичности тубинговой крепи вертикальных стволов рудников в условиях Верхнекамского месторождения калийных солей.
- Бессолов Д. П.** Опыт эксплуатации установок управляемого бурошнекового бурения типа УМТ, выпускаемых ООО "СОЭЗ".
- Стафеев Г. М., Леонов А. Г.** Ведение тоннелепроходческого механизированного комплекса с применением российской навигационной системы SN-PAi.

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 15.10.2012. Подписано в печать 23.11.2012. Формат 60 × 88 1/8. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 5,88. Заказ GO1112. Цена свободная.

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

Оригинал-макет ООО "Авансед солюшнз". Отпечатано в ООО "Авансед солюшнз". 105120, г. Москва, ул. Нижняя Сыромятническая, д. 5/7, стр. 2, офис 2.