

**Г.Д. Трифанов, А.А. Князев,
М.Г. Трифанов, М.А. Стрелков**

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь, Россия

СОВРЕМЕННЫЕ СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ДЕЙСТВУЮЩИХ ШАХТНЫХ ПОДЪЁМНЫХ УСТАНОВОК

Приведены описание и назначение приборов безопасности, внедренных в практику эксплуатации действующих подъемных установок: регистраторов параметров РПУ 03.х; систем измерительных «Силькан»; ограничителя скорости ОС–5; аппаратура защиты от напуска каната «Тулум». Приборы обеспечивают выполнение требований действующих правил безопасности.

Ключевые слова: шахтная подъемная установка, приборы безопасности, регистрация параметров, защита, превышение скорости, напуск каната.

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

State National Research Politechnical University of Perm, Perm

MODERN SAFETY SYSTEMS TO OPERATE THE WORKING MINE HOISTING PLANTS

The article deals with the description and application of safety devices, implemented in the exploitation practice of acting mine hoists: the recorder of parameters RPU 03.x, measuring system «Silkan», overspeed limiter OS-5, equipment protection from the overlap rope «Tulum». Devices provide an achievement of the current safety rules.

Keywords: mine hoisting plants, safety devices, registration of parameters, protect, overspeeding, overlap of rope.

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 современными приборами безопасности. К ним относятся:

1) устройства для регистрации основных параметров режимов работы подъемной машины (п. 352 ПБ 03-553-03);

2) ограничители скорости с самодиагностикой измерительных каналов и исполнительных элементов (пп. 359б, 360н ПБ 03-553-03 и 392б, 393к ПБ 05-618-03);

3) защита от напуска каната в стволе (360 б ПБ 03-553-03);

4) защита от зависания сосудов в разгрузочных кривых (360 з ПБ 03-553-03).

Для обеспечения выполнения требований правил безопасности сотрудниками кафедры «Горные и нефтепромысловые машины» Пермского национального исследовательского политехнического университета (ПНИПУ) и ООО РКЦ разработан и внедрён в практику эксплуатации ряд приборов, обеспечивающих повышение безопасности эксплуатации действующих шахтных подъёмных установок.

После ввода в действие Единых правил безопасности при разработке рудных, нерудных и россыпных месторождений подземным способом (ПБ 03-553) в 2003 году ООО «РКЦ» изготовлено и установлено на действующих и вновь вводимых в эксплуатацию шахтных подъёмных установках более 190 устройств для регистрации основных параметров режимов работы подъёмной машины РПУ-03.х.

Наименование «РПУ-03.х» является общим для типового ряда регистраторов параметров РПУ-03.1, РПУ-03.3, РПУ-03.5, отличающихся набором выполняемых функций и исполнением рабочей станции.

РПУ-03.х обеспечивают:

- регистрацию всех циклов работы подъёмной установки;
- контроль всех режимов работы подъёмной установки;
- определение причин возникновения аварийных ситуаций;
- контроль выполнения работ по техническому обслуживанию и ремонту;
- определение и регистрацию положения, скорости и направления движения подъёмных сосудов;
- объективную оценку технического состояния элементов шахтной подъёмной установки;
- контроль состояния тормозной системы подъёмной машины.

Измерительная часть РПУ-03.х выполнена на базе многоканального программируемого промышленного контроллера с комплектом измерительных модулей аналого-цифрового ввода и гальванической развязки. Количество и тип комплекта измерительных модулей аналого-цифрового ввода и гальванической развязки определяются перечнем параметров для контролируемой подъёмной установки.

Обмен данными между контроллером и рабочей станцией РПУ-03.x производится по промышленной сети ModBus RTU RS-485 (РПУ-03.1, РПУ-03.3), по промышленной сети ProfiBus DP PC или Ethernet/IP (РПУ-03.5).

В качестве рабочей станции РПУ-03.1 и РПУ-03.3 выступает компактный панельный компьютер с сенсорным экраном, установленный в металлический корпус. Общий вид экрана работы программы в основном режиме РПУ-03.3 представлен на рис. 1.

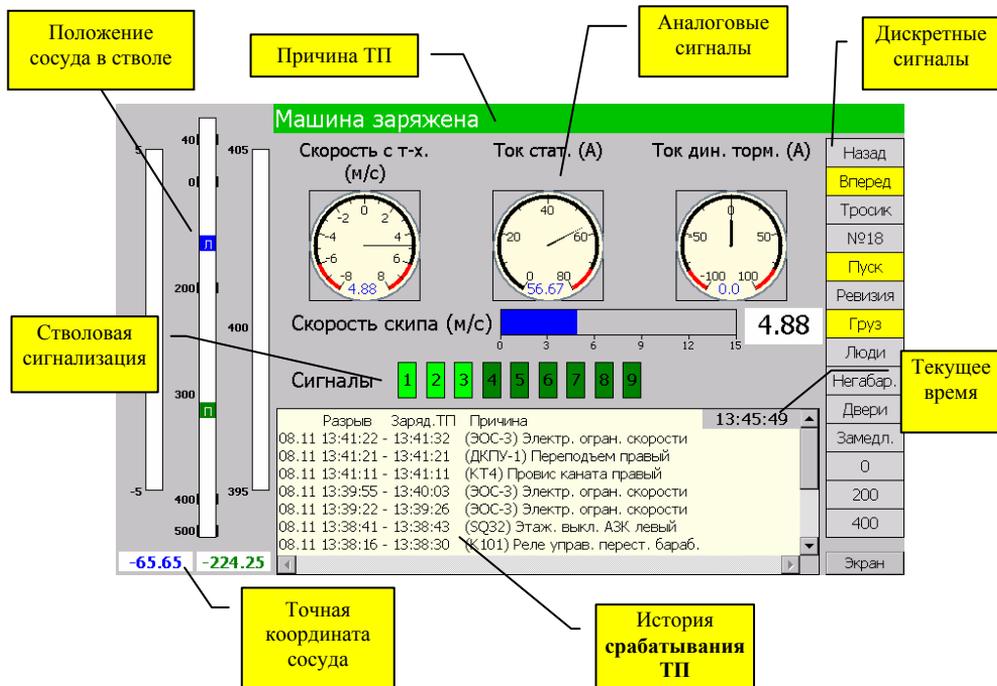


Рис. 1. Типичный вид экрана панельного компьютера РПУ-03.3

На экране отображается положение сосуда в стволе шахты и в увеличенном масштабе подходы к горизонтам. В верхней области экрана располагается строка с расшифровкой причины сработавшего предохранительного тормоза или сообщение о зарядке машины. Ниже располагается область аналоговых сигналов, в которой отображаются значения сигналов в виде стрелочных или цифровых приборов. Под стрелочными приборами выводится текущая скорость подъемных сосудов на заполняемой линейке и соответствующее цифровое значение. Программа регистратора определяет и выводит на экран последнее количество поданных сигналов. На экране содержится информация о на-

ложении предохранительного тормоза за последние сутки с указанием расшифровки причины наложения, времени срабатывания тормоза и зарядки машины. Справа располагается перечень регистрируемых дискретных сигналов, которые дублируют некоторые из индикаторов на пульте управления подъемной машиной.

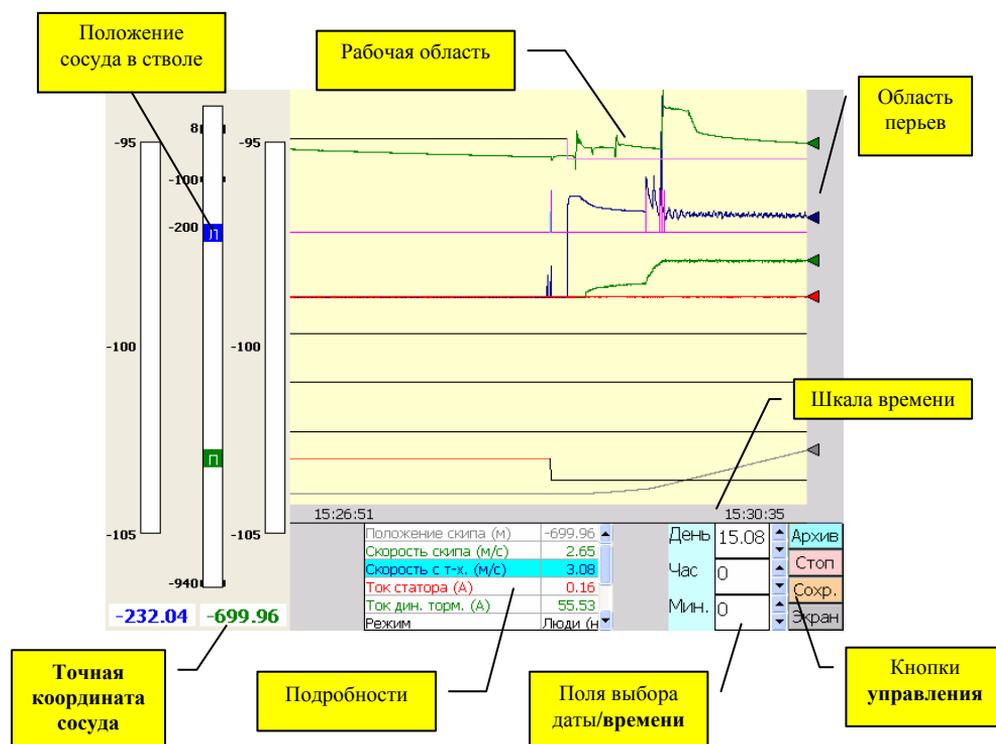


Рис. 2. Экран РПУ-03.3 в режиме просмотра графиков

В программе РПУ-03.3 имеется возможность переключиться из основного экрана в режим просмотра графиков регистрируемых сигналов. На рис. 2 представлен общий вид экрана в этом режиме. При срабатывании предохранительного тормоза в рабочей области появляется сообщение, в котором на красном фоне выводится текст, сообщающий о причине наложения предохранительного тормоза. Момент времени наложения предохранительного тормоза фиксируется прямоугольной «ступенью» дискретного сигнала в рабочей области.

Регистратор параметров работы РПУ-03.5 среди семейства РПУ-03.x является наиболее функциональным устройством, построенным на основе открытых промышленных стандартов с возможностью пере-

дачи регистрируемых данных и статистической информации в сеть предприятия. Рабочая станция РПУ-03.5 – это мощный персональный компьютер в промышленном исполнении. Экран монитора РПУ-03.5 при работе подъемной машины в автоматическом и ручном режимах имеет вид, представленный на рис. 3.



Рис. 3. Экран монитора РПУ-03.5 при работе подъемной установки в ручном и автоматическом режимах

На экране отображается информация о работе подъемного двигателя, которая содержит текущие значения силы тока в контролируемых цепях электропривода подъемной машины, скорости движения подъемных сосудов, точные координаты положения подъемных сосудов и направление их движения. Представлены параметры работы тормозной системы: ток регулятора давления, давление рабочего тормоза, давление в полостях цилиндров предохранительного торможения и давление на выходе регулятора давления. Фиксируется время последнего заполнения и опорожнения верхнего и нижнего бункеров, включения и выключения питателя, что позволяет вести журнал простоев с указанием причины остановки подъема.

В левой части экрана общего вида отображается положение сосудов в стволе и состояние датчиков прихода на отметки разгрузки. При подходе скипа к зонам загрузки и разгрузки положение скипа отображается в виде стрелки на дополнительной шкале в увеличенном масштабе. Шкала строится относительно точной отметки и показывает приближение скипа к ней, что помогает машинисту подъемной установки остановить подъемный сосуд точно на горизонте.

Программа РПУ-03.5 производит подсчет количества выданной горной массы по графику, установленному на руднике, продолжительность подъема, время паузы между подъемными циклами и производительность подъемной установки.

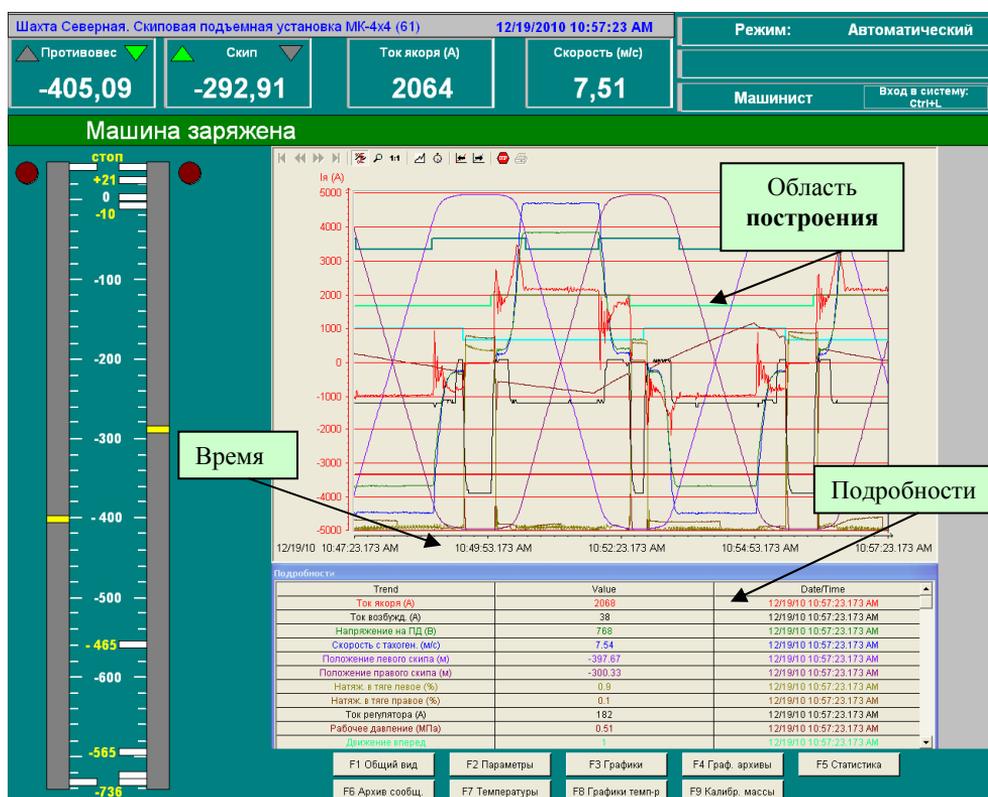


Рис. 4. Графики текущих данных о работе подъемной машины

При помощи кнопок в нижней части экрана осуществляется переключение между функциональными экранами и вызов программ просмотра статистических и графических архивов. Одним из таких экранов является экран просмотра значений аналоговых сигналов в виде графиков

(рис. 4). На другом функциональном экране изображена мнемосхема подъемной установки с выводом текущих значений температур в контролируемых точках. Температуры измеряются на обмотках двигателя, в подшипниках, в водяной охлаждающей системе. Контроль температур позволяет реализовать функции защиты подъемного двигателя и подшипников от перегрева и связанной с ним поломки.

Программное обеспечение РПУ-03.5 позволяет осуществить просмотр как текущей, так и сохраненной (архивной) информации. Архивные данные разделены на два типа: статистическая информация о работе подъемной установки и графическая. Для удобного просмотра каждого типа архивных данных служат специализированные программы, имеющие возможность передавать информацию в виде отчетов в Microsoft Word и Excel для ее последующей обработки и представления. При просмотре архивов текущий контроль параметров работы подъемной установки не прекращается.

Для детального просмотра конкретных параметров работы подъемной установки можно вывести на экран монитора любой подъемный цикл, записанный в течение последних 30 дней (рис. 5). Диапазоном просмотра графической информации в рабочем окне программы может выступать подъемный цикл, выбранный из статистической базы данных, или произвольный временной промежуток.

Программа просмотра графических архивов позволяет отображать и скрывать графические сигналы в рабочем окне, масштабировать графики по оси ординат и временной оси, осуществлять навигацию при помощи визиров для получения точных значений регистрируемых параметров, изменять положение графиков по вертикали. Наряду со стандартными возможностями, предоставляемыми подобными программами просмотра графической информации, программа регистратора РПУ-03.x позволяет также изменять начало отсчета по координате времени, устанавливать метки для автоматического измерения временных промежутков между технологическими операциями, устанавливать маркеры значений параметров в точке и подписывать графики, отображать при необходимости координатную сетку. Функция совмещения графиков из двух рабочих окон в одно полезна для сравнительного анализа параметров работы подъемной машины при выполнении различных подъемных циклов. Эти дополнительные функции помогают представить графическую информацию в наиболее удобном виде и

существенно повышают уровень ее восприятия, позволяя создавать требуемые отчеты за короткое время.

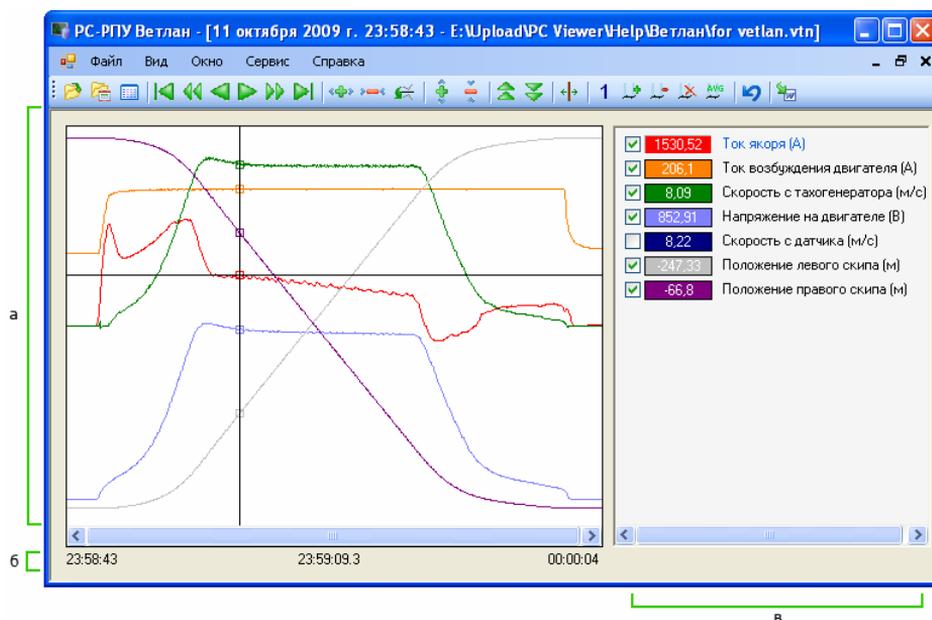


Рис. 5. Окно программы просмотра архивов регистратора параметров

Предусмотрена возможность экспорта архивных значений сигналов в виде таблиц в файл текстового формата, что позволяет производить обработку значений параметров в мощных математических пакетах, использовать их в качестве исходных данных для расчета математических моделей [3] или для верификации новых моделей.

Информация о работе подъемной установки используется специалистами и обслуживающим персоналом горнодобывающих предприятий для контроля и оперативного выявления отклонений в работе оборудования. Своевременное принятие мер по устранению неисправностей и предотвращению аварийных ситуаций позволяет повысить безопасность эксплуатации шахтных подъемных установок. Возможность документирования всех операций по управлению подъемной машиной обеспечивает контроль выполнения регламентных работ, что повышает производственную дисциплину.

РПУ–03.х имеет разрешение на применение Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору (Разрешение № РРС 00–25230) и сертифицирован как тип средств измере-

ний Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии (Сертификат RU.C.34.004.A №27774).

РПУ-03.x также обеспечивает выполнение пункта 363 а ПБ 03-553-03, то есть является скоростемером.

Авторами накоплен большой опыт проведения анализа различных нештатных ситуаций на подъемных установках, оснащенных регистраторами параметров. Во всех случаях были получены диаграммы режимов работы ШПУ и найдены причины возникновения нештатных ситуаций. В целях распространения накопленного опыта разработано учебное пособие «Расшифровка и анализ записей регистраторов параметров шахтных подъемных установок» [4]. Пособие используется при эксплуатации шахтных подъемных установок.

В практике работы многих наладочных организаций, осуществляющих ревизию и наладку шахтных подъемных установок в соответствии с п. 368 ПБ 03-553-03 и п. 254 ПБ 05-618-03, применяются системы измерительные (СИ) «Силькан», предназначенные для контроля, диагностики и наладки тормозных систем, снятия диаграмм движения подъемных сосудов, наладки и анализа состояния систем управления приводом шахтных подъемных установок.

СИ «Силькан» выполняют оперативное измерение, визуализацию и документирование параметров работы тормозной системы и электропривода шахтной подъемной установки. Подробная и наглядная информация о работе тормозной системы и электропривода позволяет:

- оперативно и достоверно определять причины отклонений в режимах работы установки;
- повысить качество и сократить время проведения ревизии и наладки.

Программное обеспечение СИ «Силькан» выполняет обработку, сохранение и представление информации о параметрах работы тормозной системы и привода подъемной установки. По результатам замеров рассчитываются параметры тормозной системы и строится тормозная характеристика. Сохраненные результаты замеров впоследствии можно воспроизвести и составить отчет.

Основные технические данные и характеристики СИ «Силькан» приведены в таблице. СИ «Силькан» имеют разрешение на применение Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору (Разрешение № РРС 00–25231) и сертифицированы как

тип средств измерений Федеральным Агентством по техническому регулированию и метрологии (Сертификат об утверждении типа средств измерений RU.C.34.004.A № 24737).

Высокая точность измерения основных параметров работы шахтных подъёмных установок с помощью стационарных регистраторов параметров РПУ-03.5 «Ветлан» и переносных систем измерительных «Силькан» позволяет определять нагрузки, испытываемые элементами шахтной подъемной установки с учетом всех процессов, происходящих при ее работе [3, 5].

Технические данные и характеристики «Силькан»

№ п/п	Технические характеристики	Значение по ТУ
1	Измерительные каналы 1–2	
	Диапазон измерения напряжения постоянного тока, мВ	± 100
	Приведенная погрешность измерений, %, не более	± 1
2	Измерительные каналы 3–4	
	Диапазон измерения напряжения постоянного тока, В	± 5
	Приведенная погрешность измерений, %, не более	$\pm 0,5$
3	Измерительный канал 5	
	Диапазон измерения силы постоянного тока, мА	$4 - 20$
	Приведенная погрешность измерений, %, не более	± 1
4	Измерительные каналы 6 – 7	
	Диапазон измерения входного напряжения постоянного тока с использованием делителя напряжений ДН-1000/250-5, В	$\pm 250, \pm 1000$
	Приведенная погрешность измерений, %, не более	$\pm 2,0$
5	Измерительные каналы 8 – 10	
	Диапазон измерения деформации с использованием датчиков деформации (тензорезисторы КФ5П1-10-400-А-12 в комплекте с усилителем сигнала Signal Amplifier CMJ-CE), мкм/м	± 3000
	Диапазон измерения напряжения постоянного тока, В	± 1
	Приведенная погрешность измерений, %, не более	$\pm 0,5$
	Диапазон измерения постоянного тока с использованием токовых клещей (PROVA 15 или аналогичные), А	$\pm 4, \pm 30$
	Приведенная погрешность измерений, %, не более	$\pm 3,0$

Окончание таблицы

№ п/п	Технические характеристики	Значение по ТУ
6	Измерительные каналы 8 – 10 Диапазон измерения напряжения переменного тока промышленной частоты (50±1) Гц, В Приведенная погрешность измерений, %, не более Диапазон измерения переменного тока промышленной частоты (50±1) Гц с использованием токовых клещей (PROVA 15, АТА-2502 или аналогичные), А Приведенная погрешность измерений, %, не более	0 – 1 ± 1,0 0 ÷ 0,4; 0 ÷ 4; 0 ÷ 30; 0 ÷ 200; 0 ÷ 1000 ± 3,5
7	Измерительные каналы 11 – 18 Диапазон измерения напряжения постоянного тока (УБСР), В Приведенная погрешность измерений, %, не более	± 30 ± 1
8	Измерительный канал 19 Определение момента разрыва цепи ТП (моделирование аварийной ситуации) при настройке тормозной системы подъемной установки. Рабочее напряжение постоянного тока, В	0 ÷ 5
9	Измерительный канал 20 Диапазон измерения пройденного пути с использованием датчика угла поворота (тип 81-06331-500 Drehgeber), м Относительная погрешность измерений, %, не более Относительная погрешность расчета скорости и ускорения движения органа навивки или шкива трения подъемной машины, %, не более	0,5 ÷ 2000 ± 1 ± 2
10	Относительная погрешность временных интервалов при графическом изображении измеренного сигнала, %, не более	±1
11	Напряжение питания от сети переменного тока частотой (50±1) Гц, В Мощность, потребляемая от сети переменного тока при номинальном напряжении, ВА, не более	220 ± 20 20
12	Масса блока коммутации, г, не более	7000
13	Габаритные размеры блока коммутации, мм, не более	420×310×160

Авторами разработаны методы и компьютерные программы непрерывного расчета динамических характеристик по основным параметрам работы шахтной подъемной установки, регистрируемых РПУ-03.5 или СИ «Силькан»: крутящего момента, развиваемого подъемным двигателем, величины тормозного усилия, характера колебаний подъемных сосудов при срабатывании предохранительного тормоза. На основе этой информации определяются кинематические характеристики подъемной установки: статическое усилие на ободе барабана, масса поднимаемого груза, приведенная масса подъемной установки.

Для выполнения требований п. 359б, 360н ПБ 03-553-03 и 392б, 393к ПБ 05-618-03) ООО РКЦ начат выпуск ограничителей скорости с самодиагностикой измерительных каналов и исполнительных элементов ОС-5.

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

Основные функции ограничителя скорости ОС-5:

- расчет защитной, критической и рабочей диаграмм скорости;
- непрерывное измерение положения и скорости подъемных судов;
- вывод текущих значений и аварийных сообщений на пульт оператора;
- сравнение измеренных значений скорости с защитной диаграммой и выдачу сигнала на размыкание цепи предохранительного тормоза;
- самодиагностика измерительных каналов и исполнительных элементов.

ОС-5 легко настраивается при помощи ноутбука по результатам испытаний тормозной системы. Ноутбук позволяет отображать и сохранять графики диаграмм движения (положения и скорости) судов и журнал событий. На рис. 6 приведено основное окно программы настройки ОС-5. Эта часть программы предназначена для расчета параметров защитной, критической и рабочей диаграмм.

Расчет производится на основе вводимых данных по параметрам подъемной установки и параметрам тахограммы испытаний тормозной системы. На рис. 6 показаны защитная, критическая и рабочие диаграммы, построенные по результатам выполненных расчетов.

Ограничитель скорости ОС-5 имеет разрешение на применение Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору (Разрешение № РРС 00-38037) и сертифицирован как тип средств измерений Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии (Свидетельство RU.C.28.004.A № 37774).

Выполнение требований п. 360 б ПБ 03-553–03 (защита от напуска каната в стволе) и 360 з ПБ 03-553–03 (защита от зависания сосудов в разгрузочных кривых) обеспечивает аппаратура защиты от напуска каната «Тулым». В ней реализованы следующие функции:

- контроль натяжения подъемных канатов одноканатных ШПУ;

- защита ШПУ от напуска подъемных канатов при зависании подъемных сосудов в стволе шахты;
- контроль степени загрузки и разгрузки подъемных сосудов.

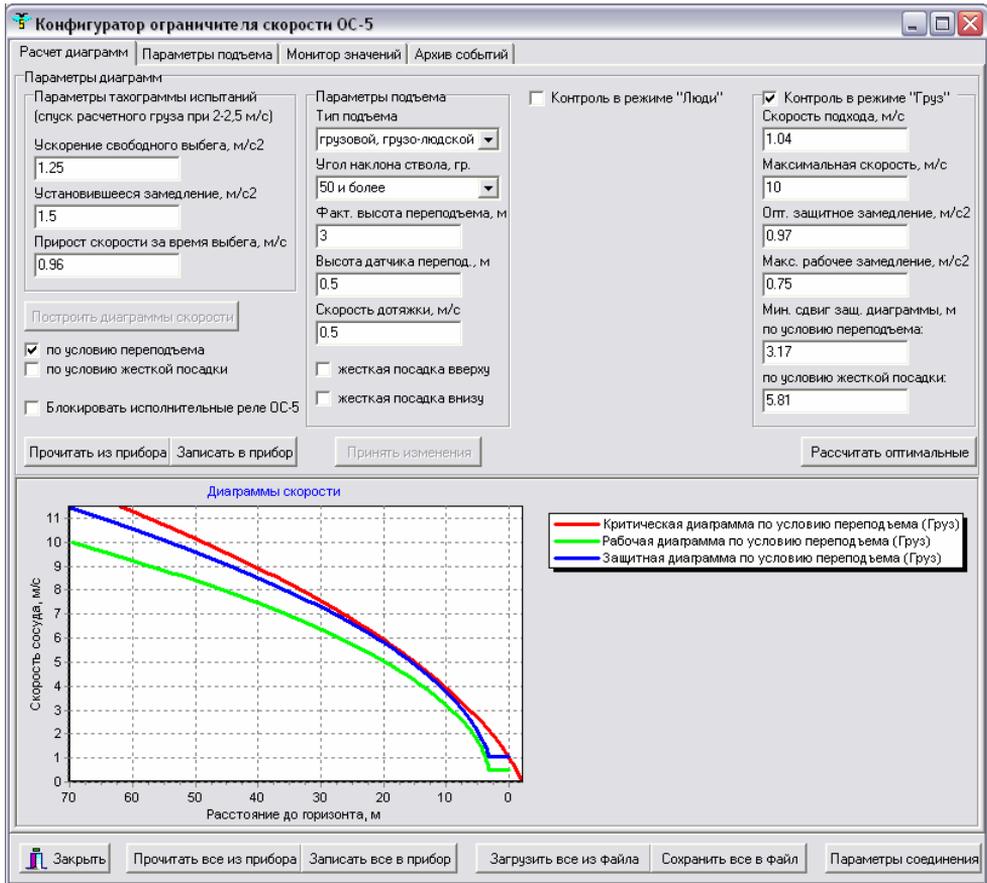


Рис. 6. Основное окно программы настройки ОС-5

Технические характеристики аппаратуры «Тулум»

- диапазон измерения натяжения каната, кН.....500
- минимальное измеряемое натяжение каната, кН.....10
- порог срабатывания при ослаблении каната,
не менее (% от концевой нагрузки).....30
- порог срабатывания при разгрузке скипа,
не более (% от веса 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

Аппаратура «Тулым» смонтирована на двух скиповых подъёмных установках, проходит промышленные испытания с целью выявления возможных неисправностей и исключения ложных срабатываний. После оформления результатов испытаний в установленном порядке будет получено разрешение Ростехнадзора на применение.

Библиографический список

1. Единые правила безопасности при разработке рудных, нерудных и россыпных месторождений полезных ископаемых подземным способом (ПБ 03–553–03). Серия 03. Вып. 33 / Научно-технический центр по безопасности в промышленности. – М., 2005. – 200 с.

2. Правила безопасности в угольных шахтах (ПБ 05-618-03). Серия 05. Вып. 11 / Научно-технический центр по безопасности в промышленности. – М., 2004. – 265 с.

3. Стрелков М.А. Оценка состояния шахтных подъемных установок по данным системы постоянного контроля параметров // Горное оборудование и электромеханика. – 2011. – № 2. – С. 34–38.

4. Трифанов Г.Д. Расшифровка и анализ записей регистраторов параметров шахтных подъемных установок: учеб. пособие. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2009. – 154 с.

5. Стрелков М.А. Метод определения основных характеристик шахтных подъемных установок в режиме реального времени // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2011. – № 4. – С. 314–318.

References

1. Uniform rules of safety in the mining of ore, aggregates and placer deposits of minerals by underground mining (PB 03–553–03). Series 03. Issue 33. – M.: FGUP «Scientific-Technical Center for Industrial Safety» 2005. – 200 p.

2. Rules of Safety in Coal Mines (PB 05-618-03). Series 05. Issue 11. – M.: FGUP «Scientific-Technical Center for Industrial Safety» 2004. – 265 p.

3. Strelkov M.A. Mine Hoisting Plant State Estimation Based on Parameters Monitoring System// Mining Machinery and Electromechanics. – 2011. – № 2. – С. 34–38.

4. Trifanov G.D. Explanation and analysis of records of registrars of parameters mine hoisting installations: tutorial. – Perm: Publisher of Perm State University science technical, 2009. – 154 p.

5. Strelkov M.A. Method for determining the basic characteristics of mine hoisting plant in real time // Mountain of information and analytical bulletin (scientific and technical journal). – Publishing house: Mining book, 2011. – № 4. – P. 314–318.

Об авторах

Трифанов Геннадий Дмитриевич (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой горных и нефтепромысловых машин Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: kanat@pstu.ru).

Князев Александр Александрович (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, старший научный сотрудник кафедры горных и нефтепромысловых машин Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: kanat@pstu.ru).

Трифанов Михаил Геннадьевич (Пермь, Россия) – младший научный сотрудник кафедры горных и нефтепромысловых машин Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: kanat@pstu.ru).

Стрелков Михаил Александрович (Пермь, Россия) – аспирант кафедры горных и нефтепромысловых машин Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: kanat@pstu.ru).

About the authors

Trifanov G.D. Ph.D. (Perm, Russia) (cand. technical sci.), Docent, Head of Department, State National Research Politechnical University of Perm, Department of Oil and Mines Machinery. (614990, Komsomolsky st. 29. Perm, Russia, e-mail: kanat@pstu.ru).

Knyazev A.A. Ph.D. (cand. technical sci.), Senior Research Scientist, State National Research Politechnical University of Perm, Department of Oil and Mines Machinery. (614990, Komsomolsky st. 29 Perm, Russia, e-mail: kanat@pstu.ru).

Trifanov M.G. Junior Researcher, State National Research Politechnical University of Perm, Department of Oil and Mines Machinery. (614990, Komsomolsky st. 29. Perm, Russia, e-mail: kanat@pstu.ru.

Strelkov M.A. graduate student, State National Research Politechnical University of Perm, Department of Oil and Mines Machinery. (614990, Komsomolsky st. 29. Perm, Russia, e-mail: e-mail:kanat@pstu.ru.

Получено 09.09.2011