Записки Ленинградского ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени горного института т. XXXIII, вып. I, 1956 г.

АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ СКРЕБКОВЫМИ КОНВЕЙЕРАМИ

Д. М. Беленький

Доставка угля из очистного забоя в большинстве случаев осуществляется несколькими скребковыми конвейерами, образующими конвейерную линию. Пуск в работу такой линии должен осуществляться поочередным включением конвейеров в последовательности, обратной потоку угля. Для уменьшения падения напряжения в сети последовательный пуск двигателей должен производиться с определенной выдержкой времени. Останавливать же конвейеры надо в последовательности, соответствующей направлению потока угля. При аварийной остановке любого из конвейеров, составляющих конвейерную линию, должны быть немедленно остановлены все конвейеры, передающие уголь на остановившийся конвейер. В противном случае произойдет заваливание углем конвейера, с которым произошла авария, а в случае наиболее частой аварии — обрыв скребковой цепи, ее «сбрасывание». Для выполнения этих операций задалживаются специальные рабочие, осуществляющие управление конвейерами и наблюдение за их работой.

Управление и наблюдение за работой участковых конвейеров весьма трудоемкая операция. Так, на 1000 *т* угля в Московском бассейне затраты труда на эти работы составляют 22 человека, в Донецком — 6 человек, в Карагандинском — 11,5 человек.

В последние годы на угольных шахтах проведена большая работа по переводу участковых конвейерных линий на дистанционное управление. Однако дистанционное управление скребковыми конвейерами с помощью магнитных пускателей, даже в случае их электрической блокировки, не устраняет операций последовательного с выдержкой времени пуска двигателей и наблюдения за работой конвейеров. Поэтому дистанционное управление не вызывает уменьшения трудоемкости работ по обслуживанию конвейерных установок. Для полной ликвидации этих работ необходимо систему дистанционного управления дополнить автоматическими устройствами, обеспечивающими последовательный с выдержкой времени пуск двигателей и контроль за состоянием электрической и механической частей каждого конвейера, т. е. необходимо осуществить автоматизированное дистанционное управление конвейерной линией.

В схеме автоматизированного управления должны быть учтены конкретные условия эксплуатации скребковых конвейеров на эксплуатационных участках. Для ускорения перевода уже работающих конвейерных линий на автоматизированное управление схема должна включать в себя по возможности серийное, имеющееся на шахтах, электрооборудование

(электродвигатели, пускатели, кабели, кнопочные посты). Схема должна быть максимально простой, упрощающей работы по обслуживанию и переноске системы автоматизированного управления.

Управление конвейерной линии должно производиться оператором места погрузки вагонеток. При нажатии оператором пусковой кнопки должны последовательно с выдержкой времени включаться все двигатели конвейерной линии. Неисправность любого из конвейеров должна вызвать немедленную остановку всей или части конвейерной линией. Так как рабочие, которые будут ликвидировать аварию, как правило, находятся в самой лаве, для сокращения времени ликвидации аварии номер неисправного конвейера должен быть зафиксирован непосредственно в лаве. По условиям техники безопасности при аварийной остановке конвейерной линии должна быть заблокирована цепь управления неисправного конвейера и подающих на него уголь конвейеров таким образом, что включение этих конвейеров с погрузочного пункта было бы невозможно. Схема должна также допускать возможность опробования любого из конвейеров после переноски.

Необходимо также обеспечить перевод на автоматизированное управление при любой схеме энергоснабжения конвейерной линии. На практике применяются три схемы питания электроэнергией участковых конвейерных линий: параллельная, последовательная и смешанная.

При параллельной схеме пускатели всех конвейеров располагаются на штреке в одном распределительном пункте. По лаве прокладываются гибкие кабели, соединяющие двигатели конвейеров с их пускателями. Из-за необходимости включения и выключения конвейеров непосредственно в лаве обычно у привода каждого конвейера дополнительно устанавливаются пускатели. Эта схема применяется на участках, где устанавливается только два конвейера, а также на пластах с полезной мощностью менее 0,8 *м*, где невозможна установка пускателей в лаве.

При последовательной схеме питание электроэнергией всех конвейеров на участке осуществляется одним гибким кабелем, проходящим через вводные коробки пускателей, которые устанавливаются рядом с приводными головками конвейеров. Эта схема питания обычно применяется при наличии на участке более двух конвейеров.

Смешанная схема представляет сочетание параллельной и последовательной схем. Ее применение дает возможность сокращать число мотористов, задалживаемых для наблюдения за работой конвейеров.

Таким образом, схема автоматизации скребковых конвейеров должна быть разработана с учетом возможности осуществления как последовательной, так и параллельной схем энергоснабжения.

В настоящее время в научно-исследовательских и проектно-конструкторских организациях изыскиваются способы автоматизации управления конвейерными линиями. Большой интерес в этой области представляют работы Всесоюзного угольного института по созданию схем и аппаратуры для автоматизации управления ленточными конвейерами. В качестве основного элемента схемы ВУГИ разработан аппарат контроля, представляющий собой гидравлическое реле скорости, принцип действия которого заключается в следующем. Небольшой масляный насос, приводимый во вращение лентой конвейера, создает давление масла в цилиндре, поршень которого через определенный промежуток времени замыкает контакты, включенные в цепь управления пускателя. По прекращении работы насоса поршень под действием пружины возвращается в исходное положение, размыкая контакты.

Такая система автоматизации, предназначенная для последовательной схемы энергоснабжения, не применима для управления скребковыми

конвейерами, так как наличие в этой системе большого числа различной аппаратуры (пускателей, релейных ящиков) и кабелей не позволяет осуществлять переноску и монтаж оборудования после каждого добычного цикла. Поэтому схема автоматизации управления скребковыми конвейерами с применением гидравлического реле скорости пригодна только для радиальной схемы энергоснабжения, при которой возможно некоторое упрощение цепи управления. Однако практическое осуществление этой схемы требует изготовления новых электродвигателей, имеющих кабельную коробку, пригодную для разделки шестижильного кабеля и вывода вспомогательного кабеля, а также новых магнитных пускателей.

Гидравлическое реле, как и любое другое реле скорости, обеспечивает только две комбинации контактов, которые определяют два положения цепи управления двигателями конвейеров. Очевидно, упрощение электрической схемы автоматизированного управления может быть достигнуто применением такого аппарата управления и контроля, который бы позволил получить большее число комбинаций в электрической схеме.

В 1953 г. лабораторией автоматизации Карагандинского научно-исследовательского угольного института была разработана схема автоматизированного управления участковыми скребковыми конвейерами. Основным элементом этой схемы является динамическое реле, в котором контролируемый вал связан с выявляющим изменение его скорости маховиком, имеющим только вращательное движение.

Конструкция опытного образца динамического реле представлена на рис. 1. По шпонкам приводного вала *1* может перемещаться втулка *2*, которая ввинчена в ступицу *3* маховика *4*. Маховик *4* вращается в подшипниках, вмонтированных в корпус реле. При пуске конвейера получает вращение приводной вал *1*. Вследствие инерции маховика втулка *2* вывинчивается и перемещается вдоль вала, поворачивая вилку *6*, которая своими рычагами воздействует на нормально открытые контакты *7*, включающие в работу двигатель следующего конвейера. Одновременно, вследствие нажатия втулки на пружину *5*, приводится во вращение маховик, который через втулку сцепляется с приводным валом. Разгоняясь, маховик приобретает скорость, бо́льшую, чем скорость вала, благодаря чему втулка перемещается на некоторое расстояние в обратном направлении. По успокоении колебаний маховик вращается со скоростью приводного вала.

При остановке конвейера приводной вал *1* останавливается. Маховик продолжает по инерции вращаться, что вызывает перемещение втулки в противоположном направлении и размыкание нормально закрытых контактов *8*. Втулка затем под действием сжатой пружины перемещается в обратном направлении, благодаря чему происходит замыкание нормально закрытых контактов — подготовка к последующему пуску двигателя.

Для успокоения колебаний, возникающих в механизме реле, в полость маховика заливается вязкое масло.

Все детали реле размещаются во взрывобезопасном корпусе *9*. Крышка корпуса сблокирована с кнопкой аварийного выключения *10*.

Приводной вал динамического реле через муфту соединяется с валом звездочки, приводимой во вращение холостой ветвью скребковой цепи. Вал звездочки монтируется на специальном рештаке, устанавливаемом между приводной головкой конвейера и первым нижним рештаком става.

Таким образом, динамическое реле может иметь четыре различные комбинации положений контактов: 1) замыкание нормально открытых

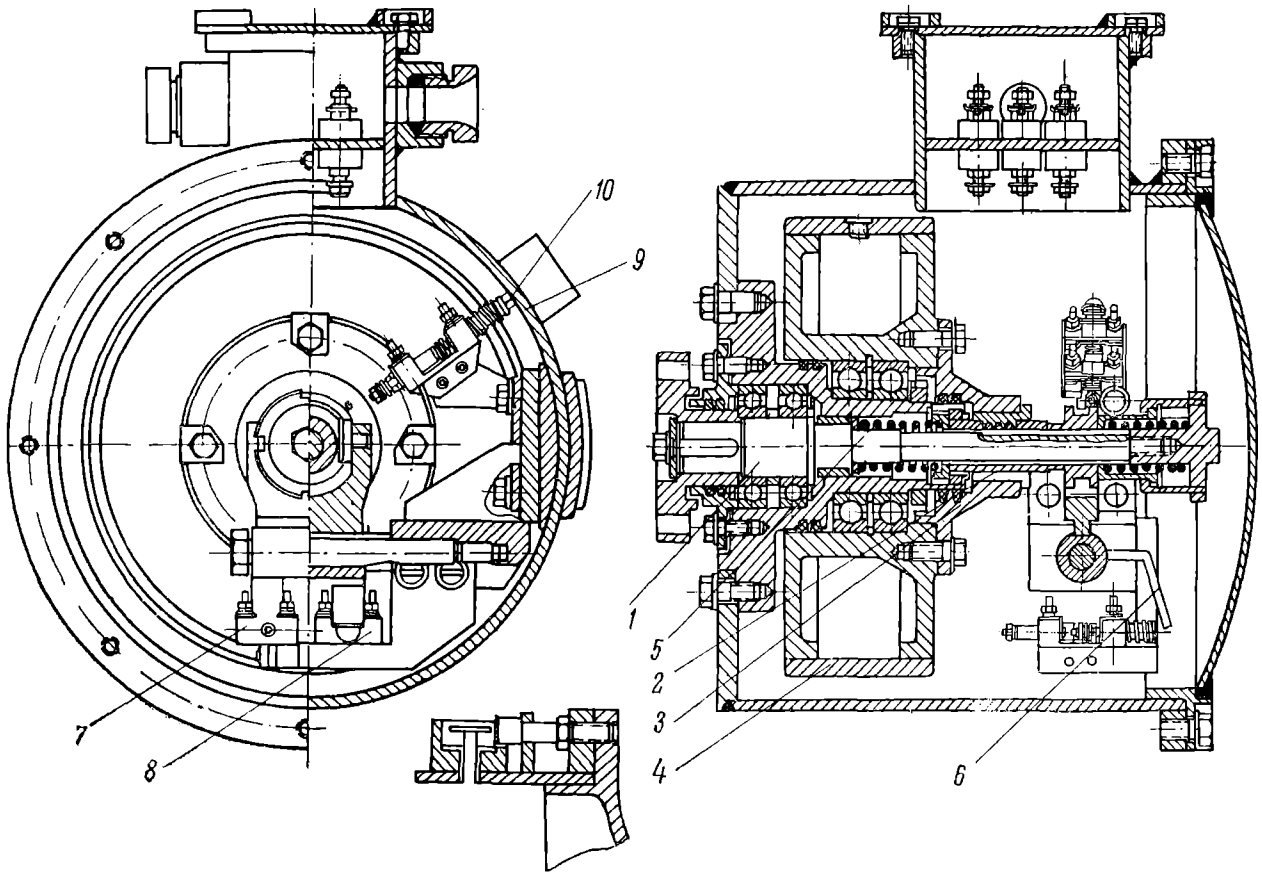


Рис. 1. Опытный образец динамического реле:

1 — приводной вал; *2* — втулка; *3* — ступица маховика; *4* — маховик; *5* — пружина; *6* — вилка; *7* — нормально открытые контакты; *8* — нормально закрытые контакты; *9* — корпус реле; *10* — кнопка аварийного отключения

контактов (пуск в ход конвейера), 2) размыкание нормально открытых контактов (нормальная работа конвейера); 3) размыкание нормально закрытых контактов (остановка конвейера); 4) замыкание нормально закрытых контактов (подготовка к последующему пуску).

На рис. 2 представлена разработанная КНИУИ схема автоматизированного управления скребковыми конвейерами с динамическим реле для последовательной схемы питания электроэнергией. Оборудование для автоматизированного управления участковыми конвейерами состоит из динамических реле, серийных магнитных пускателей ПМВ-1344, в которые встраиваются реле блокировки, одного гибкого шестижильного кабеля, проложенного вдоль лавы, коротких гибких кабелей малого сечения, связывающих реле с их пускателями, и кнопочного поста, расположенного на погрузочном пункте. При нажатии оператором кнопки «Ход» поста управления включается двигатель первого конвейера. Через некоторое время срабатывает динамическое реле этого конвейера и включает двигатель второго конвейера. Далее срабатывает реле второго конвейера, включая двигатель третьего, и т. д. до пуска в ход всей конвейерной линии.

Остановка конвейеров производится нажатием кнопки «Стоп» поста управления. При аварии с одним из конвейеров срабатывает реле этого конвейера, размыкая свой нормально закрытый контакт. Одновременно срабатывает реле блокировки *РБ*, блокируя своими контактами соответствующий пускатель; аварийный конвейер, и все подающие на него груз конвейеры останавливаются. Этим непосредственно в лаве фиксируется номер неисправного конвейера и обеспечивается безопасность работ по ликвидации аварии, так как блокировка устраняет возможность включения с погрузочного пункта неисправного конвейера и подающих на него груз конвейеров. Остановка конвейерной линии или ее части может быть произведена непосредственно из лавы нажатием на кнопку аварийного выключения соответствующего динамического реле.

Схема допускает возможность опробования любого конвейера после его переноски или ремонта. После переноски пускатели подсоединяются к магистральному кабелю. Порядок подключения двух жил дистанционного управления роли при этом не играет.

Электрическая схема автоматизированного управления составлена для последовательной схемы питания электроэнергией, поэтому пригодна для скребковых и ленточных конвейеров. Заметим, что в схеме рис. 2, которая является лишь одним из возможных вариантов схем автоматизированного управления, использованы только три комбинации положений контактов динамического реле.

Система автоматизированного управления была испытана на поверхности шахты № 31 и в подземных условиях на шахте № 37 (комбината Карагандауголь) и дала положительные результаты.

Величина перемещения устанавливающего элемента динамического реле может быть выражена

$$x = \frac{S}{60}(n_в - n_м)t, \qquad (1)$$

где S — шаг резьбы втулки;
$n_в$ и $n_м$ — число оборотов приводного вала и маховика в 1 мин.;
t — время движения втулки.

Очевидно, срабатывание реле возможно лишь при наличии разности скоростей вращения приводного вала и маховика в течение определенного промежутка времени.

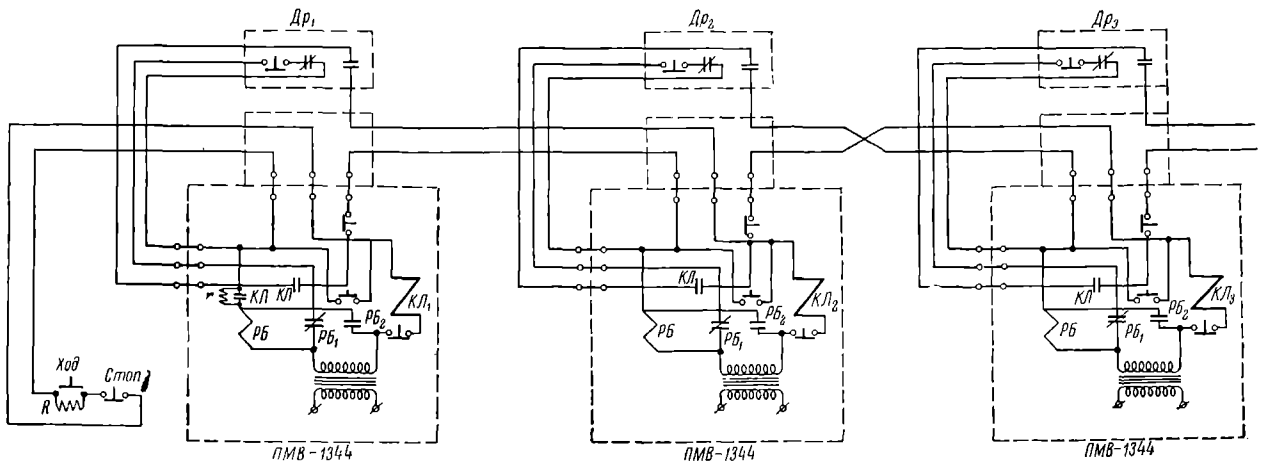


Рис. 2. Электрическая схема автоматизированного дистанционного управления участковыми конвейерами

Выражение (1) можно представить в виде

$$x = \frac{S}{2\pi}\left[\int \omega_в dt - \int \omega_м dt\right] = \frac{S}{2\pi}(\varphi_в - \varphi_м), \qquad (2)$$

где $\omega_в$ и $\omega_м$ — угловые скорости вращения приводного вала и маховика;

$\varphi_в$ и $\varphi_м$ — угловые пути, проходимые валом и маховиком.

Характер движения втулки, а следовательно, и срабатывания реле, как видно из уравнения (2), определяется характером движения приводного вала (скребковой цепи для нашего случая) и маховика.

Для движения скребковой цепи конвейера характерны четыре случая, соответствующие пуску конвейера при включении двигателя, нормальной работе конвейера, остановке конвейера после выключения двигателя и обрыву цепи.

1. Пуск конвейера при включении двигателя. Продолжительность пуска конвейера может быть определена известным в теории электропривода методом пропорции. Лежащая в основе этого метода пропорция имеет вид

$$\frac{M_{дв} - M_с}{J_{пр}} = \frac{\Delta\omega}{\Delta t}, \qquad (3)$$

где $M_{дв}$ — момент на валу двигателя, задаваемый в функции скорости характеристикой двигателя;

$M_с$ — момент сил полезных и вредных сопротивлений в механизме конвейера;

$J_{пр}$ — момент инерции движущихся частей конвейера, приведенный к валу двигателя.

Построив графическим путем кривую $M_{дв} - M_с = f(t)$, пользуясь методом пропорций, получим кривую $\omega = f(t)$.

Определенная экспериментальным путем продолжительность пуска горизонтально установленного конвейера СКР-11 длиной 60 *м* составила для порожнего конвейера 0,16—0,20 сек., для груженого (по всей длине) 0,65—0,75 сек.

2. Движение цепи при нормальной работе конвейера. Как известно, движение скребковой цепи имеет весьма сложный характер; неравномерность ее движения определяется особенностями цепного зацепления и упругими смещениями сечений цепи.

3. Остановка конвейера после выключения двигателя. Уравнение движения скребковой цепи в этот период

$$W_0 - \frac{P_{пр}}{g}a = 0, \qquad (4)$$

где W_0 — окружное усилие на звездочке;

$P_{пр}$ — приведенный к начальной окружности ведущей звездочки вес движущихся частей конвейера;

a — замедление скребковой цепи.

Из уравнения (4)

$$a = \frac{gW_0}{P_{пр}} \qquad (5)$$

Длительность остановки скребковой цепи

$$t_0 = \frac{v}{a} = \frac{P_{пр}v}{gW_0}, \qquad (6)$$

где v — средняя скорость движения скребковой цепи.

Приведенный вес движущихся частей конвейера может быть определен методом, примененным А. П. Германом в теории рудничного подъема.

Вес вращающейся детали конвейера, приведенный к начальной окружности ведущей звездочки,

$$G_{\text{пр}} = \frac{(GD^2)}{D_{\text{зв}}^2} i^2 \eta, \qquad (7)$$

где $(GD^2) = 4qJ$ — маховой момент вращающейся детали;

$D_{\text{зв}}$ — диаметр начальной окружности ведущей звездочки;

i и η — соответственно передаточное число и коэффициент полезного действия передачи между вращающейся деталью и звездочкой.

В систему движущихся частей скребкового конвейера входят ротор электродвигателя, соединительная муфта между двигателем и редуктором, редуктор, цепная передача, передающая вращение от редуктора ведущей звездочке, ведущая и ведомая звездочки, скребковая цепь и груз.

Как показывают вычисления, у серийных скребковых конвейеров приведенный вес поступательно движущихся скребковой цепи и груза в зависимости от длины конвейера и его производительности составляет всего 6—14%.

4. Обрыв цепи. Ввиду малой величины инерции поступательно движущихся цепи и груза длительность остановки цепи при обрыве значительно меньше, чем при нормальной остановке цепи (после выключения двигателя). По теоретическим расчетам длительность остановки скребковой цепи после обрыва в зависимости от условий эксплуатации составляет 0,04—0,16 сек. Меньшие значения времени остановки соответствуют обрыву холостой ветви, бо́льшие — грузовой ветви.

Продолжительность пуска и остановки конвейера, как следует из формул (3) и (4), определяется сопротивлениями движению тягового органа. В свою очередь, эти сопротивления обусловливаются коэффициентами трения цепи по желобу f_1 и сопротивления перемещению материала w'

Для определения коэффициентов f_1 и w' в условиях очистного забоя были выполнены замеры мощности, потребляемой двигателем конвейера СКР-11 на шахтах № 31 (пласт Шестифутовый) и № 20 (пласт Верхняя Марианна) комбината Карагандауголь. Электрические измерения производились в течение двух рабочих смен с помощью трехфазного регистрирующего киловаттметра. Было установлено, что величина мощности на валу двигателя пропорциональна длине загруженной части конвейера, что указывает на относительную стабильность коэффициентов f_1 и w' (табл. 1).

Таблица 1

Шахта	Пласт		w'
№ 20	Верхняя Марианна	0,24	0,42
№ 31	Шестифутовый	0,306	0,31

Вычисленные продолжительности остановки скребковой цепи конвейера СКР-11 при минимальных значениях коэффициентов сопротивления ($f_1 = 0{,}24$ и $w' = 0{,}31$) сведены в табл. 2. Производительность конвейера принята равной 60 *т/час*.

Как следует из табл. 2, продолжительность остановки скребковой цепи конвейера СКР-11 составляет в зависимости от условий эксплуатации (длина и угол установки конвейерного става, характер загрузки, скорость скребковой цепи) 1,0—7,5 сек.

Таблица 2

Условия эксплуатации конвейера			Скорость скребковой цепи, *м/сек*			
			0,412		0,52	
			a, *м*/	, сек.	*a*, *м*/	, сек.
Длина конвейера 100 *м*	Доставка по горизонтали	Порожний	0,15	2,72	0,228	2,28
		Груженый	0,405	1,02	0,55	0,95
	Доставка вниз $\alpha = 12°$	Порожний	0,15	2,72	0,228	2,28
		Груженый	0,232	1,76	0,28	1,85
Длина конвейера 30 *м*	Доставка по горизонтали	Порожний	0,055	7,5	0,084	6,2
		Груженый	0,132	3,1	0,18	2,9
	Доставка вниз $\alpha = 12°$	Порожний	0,055	7,5	0,084	6,2
		Груженый	0,077	5,4	0,11	4,7

Исследование характера срабатывания опытного образца реле (рис. 1) было выполнено на испытательном стенде и скребковом конвейере, установленном на поверхности шахты № 31. Осциллографированием определялись пути, скорости и ускорения приводного вала, маховика и втулки в процессе срабатывания реле.

Выполненное исследование позволило сделать следующие выводы.

1. Надежное срабатывание динамического реле при различных условиях эксплуатации конвейеров возможно лишь при надлежащем выборе параметров реле (момента инерции маховика, характеристики пружин, величины перемещения втулки и т. п.).

2. Реле обеспечивает срабатывание при пуске во всех случаях эксплуатации скребковых конвейеров и при остановке скребковой цепи не более 1,5—2 сек. Таким образом, как видно из табл. 2, срабатывание реле при аварийной остановке конвейера во многих случаях эксплуатации происходить не будет.

3. Срабатывание реле при длительной остановке скребковой цепи можно обеспечить уменьшением сил трения в механизме реле и увеличением времени трогания реле при остановке.

4. Неравномерность движения скребковой цепи не влияет на работу динамического реле.

На основе выполненных теоретических и экспериментальных исследований был сконструирован новый образец динамического реле (рис. 3). В новой конструкции маховик свободно поворачивается относительно

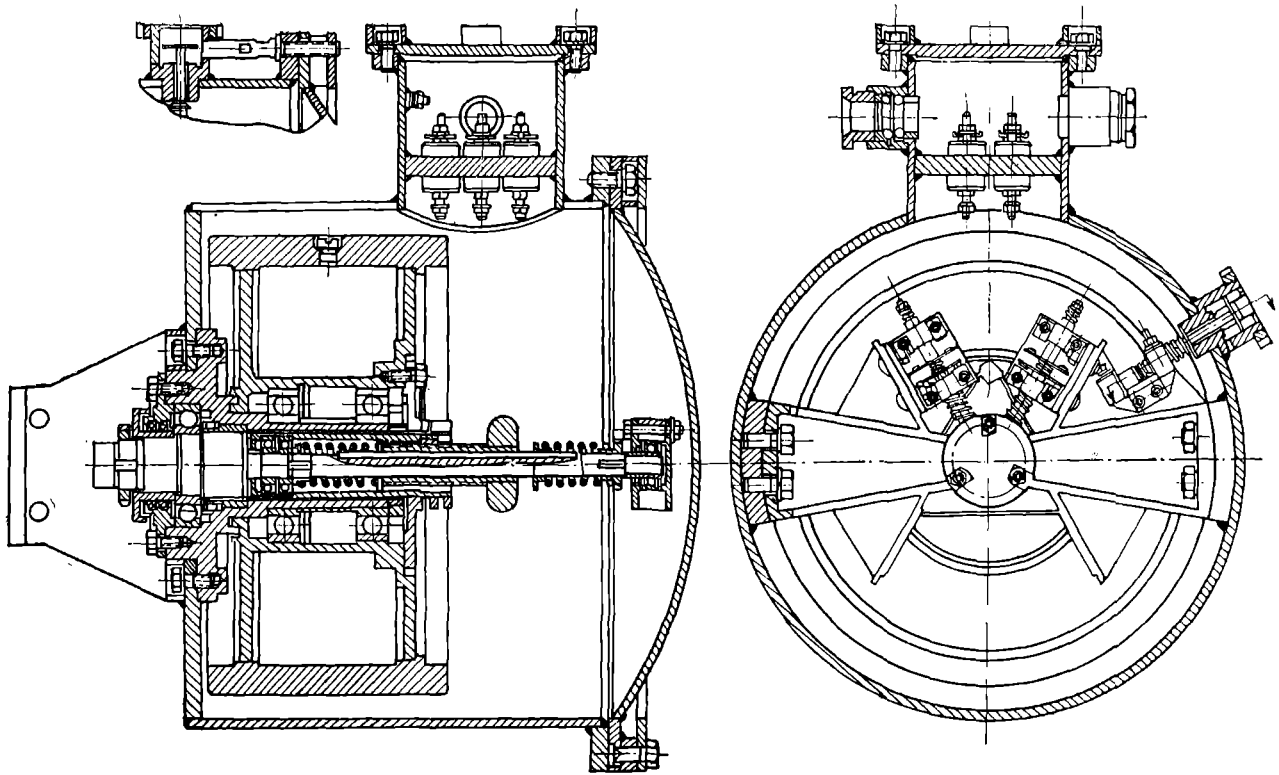


Рис. 3. Динамическое реле

втулки на некоторый угол, величина которого определяет время трогания реле и регулируется от 0 до 340° Аксиальная (от пружины) нагрузка воспринимается радиально-упорными подшипниками малого диаметра, а воздействие втулки на контактную группу осуществляется непосредственно, без применения промежуточного рычага. Общая характеристика срабатывания этого образца реле при различных режимах работы (по данным осциллограмм) приведена в табл. 3.

Таблица 3

Наличие масла в полости маховика	Число оборотов приводного вала, об/мин	Соответствующая скорость скребковой цепи, м/сек	Величина свободного хода маховика, град.	Продолжительность пуска,	Длительность остановки, сек.	Время срабатывания реле, сек.	
						при пуске	при остановке
Отсутствует	37	0,4	0	0,82	2,8	1,0	1,2
	37	0,4	340	0,5	2,5	2,1	3,0
	37	0,4	340	0,8	8,2	2,2	5,6
Имеется	37	0,4	340	0,8	2,35	2,1	3,1
Отсутствует	48	0,52	0	0,8	2,6	0,9	1,25
	48	0,52	340	0,8	2,6	1,9	2,8
Имеется	48	0,52	340	0,8	2,4	1,85	2,9

Динамическое реле данной конструкции, как следует из таблицы, срабатывая при времени замедления приводного вала 8,2 сек., удовлетворяет всем возможным случаям эксплуатации конвейеров СКР-11.

Наличие свободного хода маховика относительно втулки, увеличивая время трогания реле, обеспечивает возможность его срабатывания при длительной остановке приводного вала. Однако свободный ход маховика определяет значительное время срабатывания реле: 1,8—2,2 сек. при пуске и 2,8—5,6 сек. при остановке. Поэтому целесообразно назначать величину свободного хода маховика в зависимости от времени остановки скребковой цепи или, что все равно, от длины скребкового конвейера.

На основе проведенных исследований был сконструирован промышленный образец реле. В настоящее время Анжерским заводом Главуглемаша изготовлена партия динамических реле. Опытную эксплуатацию их намечено провести на шахтах комбината Карагандауголь.

Выводы

1. Схема автоматизированного управления участковыми конвейерами с применением динамического реле удовлетворяет всем требованиям эксплуатации и техники безопасности. Благодаря использованию стандартной электроаппаратуры она может быть применена для управления уже работающими конвейерами в предельно короткие сроки.

2. Динамическое реле, в отличие от известных типов реле, определяет четыре различные положения управляемой им цепи, поэтому применением его достигается значительное упрощение электрических схем автоматизированного управления. Таким образом, использование динамического реле открывает широкие перспективы в области автоматизации управления машинами и механизмами.