

УДК 621.867.2

Е. Антоняк

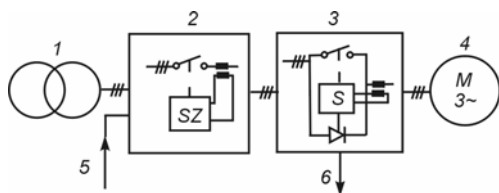
## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ТИРИСТОРНОГО СТАРТЕРА НА ДИНАМИКУ ПУСКА ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРА

Семинар № 16

### 1. Тиристорный стартер

**Т**иристорный стартер служит для плавного пуска асинхронного электродвигателя привода ленточного конвейера. Имеется множество типов тиристорных стартеров, реализующих постепенное наращивание развиваемого электродвигателем момента вращения, исключая ударные моменты в приводной системе, ограничивая в результате пробуксовку ленты на приводных барабанах и снижая скорость износа редуктора и шестерен. В настоящее время наиболее распространены тиристорные стартеры трехфазного клеточного асинхронного электродвигателя с применением тиристорного стартера представлена на рис. 1.

В состав системы входят: питающий трехфазный трансформатор 1 (Тг 6/1кВ) с изолированной нейтралью, взрывобезопасный контакторный пускатель OW2, с модулем управления SZ совместно с электроэнергетической защитой, тиристорный пускатель 3 (например с названием RTSE-200 или ZRTO 10-120 в зависимости от изготовителя) с микропроцессорным измерительно-управляющим модулем S и электродвигатель 4. От управляющего тиристорного стартера (кабелем 6) запускаются взаимодействующие пускатели. Управление конвейером осуществляет, при помощи кабеля 5, схема USPP.



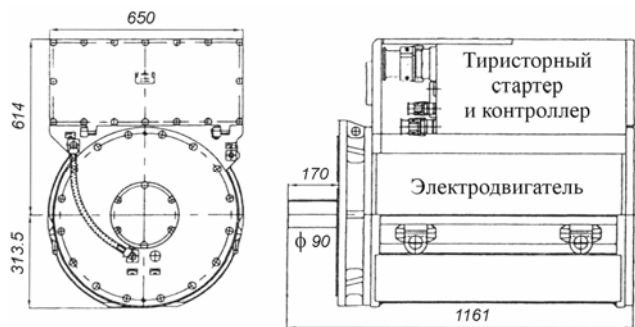
Тиристорный стартер ZRTO 10-120 (пусковой тиристорный узел с разъемом) осуществляет плавный пуск с цифровым наращиванием напряжения в заданное время с приоритетным одновременным ограничением тока. Узел располагает двумя токовыми линиями питания электродвигателей, оснащенными микропроцессорными пускателями типа DMS, позволяющими моделирование характеристики напряжения пуска в полном диапазоне. После запуска включается обходной контактор. Стартеры оборудованы оптической сигнализацией режима работы.

Стартер типа ZRTO может применяться в шахтах опасных и неопасных по газу.

Все чаще вместо тиристорных пускателей применяются индукционные одно и двухскоростные электродвигатели совмещенные с тиристорным блоком и предназначенные для привода высокозагруженных ленточных конвейеров. Управляющий тиристорный блок позволяет выполнение таких действий, как: пуск электродвигателя, выключение электродвигателя, переключение направления движения, переключение полярности обмотки двухскоростных электродвигателей, пуск и торможение электродвигателя по установлен-

ной программе, а также кратковременную регулировку оборотов.

Рис. 1. Схема питания электродвигателя с применением тиристорного стартера



*Рис. 2. Асинхронный электродвигатель мощностью 200 кВт совмещенный с тиристорным стартером и контроллером (Damel S.A.)*

Примером такого решения является электродвигатель типа SG3T 315M-4, изготовленный фирмой Damel S.A. из г. Домброва Гурнича (рис. 2).

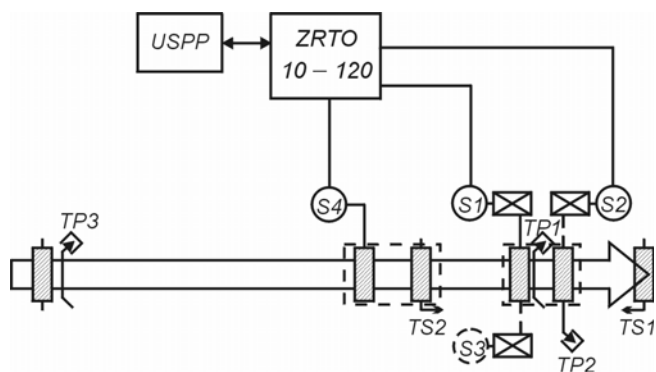
Данный электродвигатель имеет взрывобезопасное исполнение с огнестойкой защитой и искробезопасной вспомогательной цепью и может применяться в шахтах сверхкатегорных по газу. Мощность электродвигателя составляет 200 кВт при номинальном токе 140 А. Номинальный момент составляет 1293 Нм, а кратности пускового и критического по отношению к номинальному моментов составляют 2,4 и 2,2. Напряжение питания составляет 1000 В, а искробезопасное напряжение питания – 12 В постоянного тока. КПД данного электродвигателя составляет 0,94, что требует интенсивной подачи воды для его охлаждения в количестве 12 л/мин. Момент инерции ротора составляет 5,0 кг·м<sup>2</sup>, а момент инерции

Применение в электродвигателе тиристорного блока и 5-ти парного контроллера позволяет осуществлять плавный пуск, а также уравнивать нагрузки при работе конвейера с многодвигательными приводами.

Тиристорный электродвигатель состоит из следующих узлов: асинхронного электродвигателя с клеточным ротором, тиристорного блока и контроллера.

Приведенные узлы составляют одно целое с корпусом электродвигателя во взрывобезопасном исполнении, при чем тиристорный блок с контроллером составляет одну огнестойкую камеру, расположенную над корпусом электродвигателя. В статоре электродвигателя установлены термометрические резисторы для контроля системой контроллера температуры обмоток и подшипников. Контроллер путем изменения угла задеирования тиристоров позволяет изменение

*Рис. 3. Схема соединений электродвигателей и размещения измерительных датчиков на конвейере ЗГХ: TP1 ÷ TP3 – фотоэлектрические датчики скорости вращения, TS1, TS2 – датчики тензометрической силы, S1, S2 – электродвигатели привода, S3 – запасной электродвигатель, S4 – электродвигатель устройства натяжения ленты, USPP – система управления конвейера, ZRTO – тиристорный пусковой узел с разъемом*



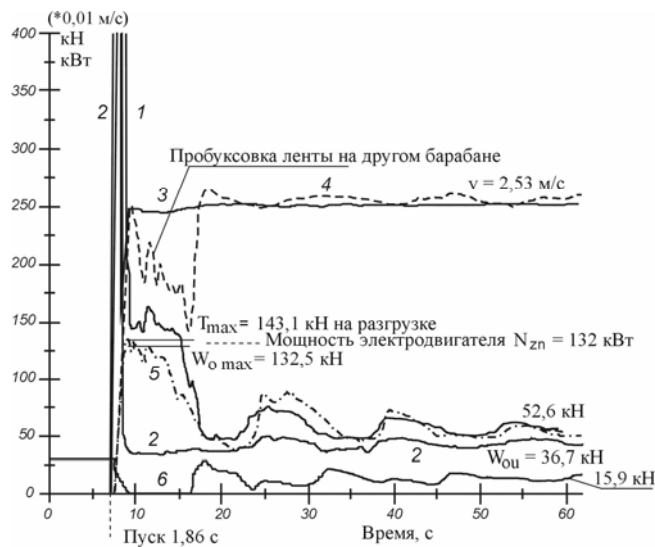


Рис. 4. Непосредственный пуск ленточного конвейера 3/GX (шахта Пяст) загруженного горной массой в количестве 61300 кг

модействовать с устройствами управления фирмы Promos-Electronic, а информация о работе электродвигателя передаваться на пульт диспетчера.

## 2. Объект испытаний

Испытываемый конвейер типа Пиома 1200/1000 обозначенный как 3/GX и работающий на шахте Пяст был оборудован тремя электродвигателями S1, S2, S3, каждый мощностью 132 кВт (рис. 3).

Во время измерений работали только два электродвигателя (S1, S2) на приводных узлах первого и второго по ходу ленты барабанов, а электродвигатель S3 расположенный в приводе первого барабана, составлял «горячий» резерв. Конвейер был расположен в пологой выработке и оборудован лентой шириной 1000 мм типа GTP 1000/3 производства фирмы FTT Wolbrom S.A. Номинальная производительность конвейера составляла 750 т/час. Конвейер имел длину 908 м, скорость ленты составляла 2,5 м/с. Ролики имели диа-

эффективной величины напряжения (пусковой ток электродвигателя пропорционален напряжению, момент вращения электродвигателя пропорционален квадрату отношения на какое снижено напряжение) вызывая изменение характеристики момента вращения и величины тока электродвигателя. Контроллер позволяет, при использовании программного обеспечения Vebro-Electronic программирование параметров пуска, торможения и регулировки пробуксовки при параллельной работе электродвигателей. Установленный на электродвигателе дисплей позволяет просмотр таких параметров, как величина тока, температура, обороты, сигнализирует о срабатывании датчиков и других функций связанных с настройкой и работой контроллера. Электродвигатель с дополнительным оснащением может взаи-

Рис. 5. Осциллограмма процесса плавного пуска с применением ZRTO 10-120 на приводах ленточного конвейера (шахта Пяст), загрузка конвейера – 60800 кг

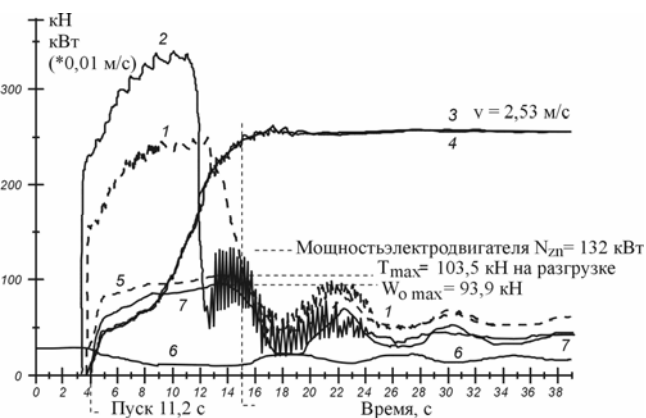


Таблица 1  
**Результаты измерений процесса пуска ленточного конвейера**

Состояние ленточного конвейера	Результаты измерений (средние) ускорений пуска $a_r$ , $m/c^2$ , скорость волны напряжений $v_b$ , $m/c$ , произведения $C \cdot f$ и усилия натяжения ленты на разгрузочном барабане $T_{max}$ , $kH$							
	Непосредственный пуск				Плавный пуск			
	$a_r$	$v_r$	$C \cdot f$	$T_{max}$	$a_{rl}$	$v_{rl}$	$C \cdot f_l$	$T_{max l}$
Пустой	1,92	525	0,032	87,9	0,348	415	0,032	65,6
соотношение	$a_r / a_{rl} = 5,5;$				$T_{max} / T_{max l} = 1,34$			
Загруженный 23720 кг 26,4 кг/м	1,72	496	0,028	108,3	0,305	387	0,028	77,5
соотношение	$a_r / a_{rl} = 5,55;$				$T_{max} / T_{max l} = 1,4$			
Загруженный 62620 кг 69,7 кг/м	1,34	409	0,029	134,1	0,227	316	0,029	103,5
соотношение	$a_r / a_{rl} = 5,9$				$T_{max} / T_{max l} = 1,3$			

Таблица 2  
**Влияние пуска конвейера на продольные колебания ленты в зоне обратного барабана**

Перечисление	Вид пуска	
	Непосредственный – незагруженный конвейер	Плавный – конвейер с грузом 60,3 т
Среднее ускорение пуска ленты и ускорение на конечном этапе пуска – на разгрузочном и хвостовом барабане, $m/c^2$	1,92/2,37 – / –	0,231/0,232 0,2/0,246
Максимальное ускорение ленты на конечном этапе пуска в зоне хвостового барабана, $m/c^2$	$a_{rk max} = 1,23 \cdot a_r$	$a_{rkl max} = 1,23 \cdot a_{rl}$
Максимальная скорость ленты на хвостовом барабане, $m/c$	$v_{rk max} = 3,56$	$v_{rkl max} = 3,6$
Соотношение максимальной скорости ленты на хвостовом барабане к установившейся скорости, $m/c$	$v_{rk max} = 1,38 \cdot v$	$v_{rkl max} = 1,42 \cdot v$
Скорость волны напряжений на грузовой ветви рассчитанная из разницы времени движения ленты на приводе и хвостовом барабане, $m/c$	$v_{fn} = 525$	$v_{fn} = 310$

метр 108 мм а приводные барабаны – 840 мм. Проводились измерения процесса пуска пустого и загруженного конвейера для непосредственного пуска и плавного пуска с использованием тиристорного пускового узла.

Для плавного пуска использовано тиристорный пусковой узел с разъемом ZRTO 10-120 (фирмы Invertim Sp. z o.o.).

### 3. Результаты испытаний пуска ленточного конвейера

Осциллограмма с непосредственного (контакторного) пуска ленточного конвейера 3/GX представлена на рис. 4. Конвейер был загружен добычей в количестве 61,3 т.

Осциллограмма представляет записанное изменение активной мощности на первом барабане S1 (кривая 1), на другом барабане S2 (кривая 2), линейная скорость другого барабана (кривая 3 – величину снятую с графика следует умножить через 0,01 чтобы получить скорость в  $m/c$ ), ско-

рость несущей ленты на разгрузке (кривая 4 – величину снятую с графика следует умножить через 0,01 чтобы получить скорость в м/с), силу натяжения ленты на разгрузочном барабане (кривая 5) и на натяжном барабане (кривая 6). Ход данных величин измерялся в функции времени. Разница ординат кривой 5 и кривой 6 является тяговым усилием двух приводных барабанов. В течение 10 с. на втором барабане имеет место пробуксовка ленты.

Тяговое усилие на барабанах привода во время пуска была равна  $W_{o\ max} = 132,5$  кН а в установившемся режиме 36,7 кН (т.е. их отношение составило 3,61). Величина максимального усилия натяжения ленты во время пуска составляла 134,1 кН, а в установившемся режиме 52,6 (таким образом соотношение усилий составляло 2,55).

Осциллограмма пуска ленточного конвейера с использованием тиристорного пускового узла с разъемом ZRTO 10-120 (Invertim Sp. z o.o.) представлена на рис. 5.

Тяговое усилие  $W_o$  – кривая 7 была зарегистрирована как разница усилий натяжения ленты на разгрузочном барабане (кривая 5) и в натяжном устройстве (кривая 6).

В табл. 1 представлено сравнение результатов полученных во время испытаний. В таблице обозначены:  $a_g, a_{g1}$  – ускорение пуска во время непосредственного и плавного пуска,  $v_f, v_{f1}$  – скорость волны напряжений в ленте, вызванной непосредственным и плавным пуском,  $C \cdot f$  – произведение коэффициента длины конвейера и фиктивного коэффициента трения (по ДИН 22101),  $T_{max}, T_{max1}$  – максимальное усилие натяжения ленты на разгрузке во время непосредственного и плавного пусков, кН.

Результаты измерений (табл. 1) отражают преимущества вытекающие из применения тиристорных стартеров. Следует отметить снижение в несколько раз величины ускорения пуска ленточного конвейера, особенно загруженного. Существенно снижаются также усилия натяжения ленты во время пуска, что положительно влияет на соединения лент, особенно разъемных соеди-

нений механического типа. В некоторых решениях тиристорных стартеров применяется так называемый кик-старт основанный на кратковременной подаче напряжения на электродвигатель, что вызывает движение ленты с минимальной скоростью, позволяющей выбрать механические зазоры в приводе и особенно редукторе. Это дополнительно снижает динамическую нагрузку на привод во время пуска ленточного конвейера.

#### **4. Поведение ленты в зоне хвостового барабана во время пуска**

Во время пуска ленточного конвейера возникают динамические силы, вызываемые ускорением ротационных масс привода. Изменения динамических сил имеют волновой характер, что проявляется в длинных конвейерах, в которых перемещение волны продольных напряжений в ленте продолжается несколько секунд. В результате лента не запускается одновременно на всей длине, и увязанные с ней массы начинают движение постепенно. Особенно большие колебания ленты наблюдаются в зоне хвостового барабана, что вызвано подходом к нему фронта волн напряжений в несущей ленте. Результаты измерения скорости ленты у разгрузочного и хвостового барабанов для непосредственного и плавного пусков конвейера представлено на осциллограмме, на рис. 6. Сравнение приведенных результатов дано в табл. 2.

Во время непосредственного пуска изменения скорости в зоне хвостового барабана носят волновой характер с амплитудой порядка 1,25 м/с и периодом свыше 8 секунд. Колебания затухают в течение нескольких десятков секунд. Наблюдается, что соотношения скорости и ускорений ленты в зоне хвостового барабана имеют значения, близкие для двух вариантов пуска. Отличает их только в несколько раз меньшее ускорение при плавном пуске. В технической литературе рекомендуется, чтобы соотношение времени наращивания пускового момента, от нуля до максимальной величины, к времени хода волны нагрузки в холостой ветви от приводного

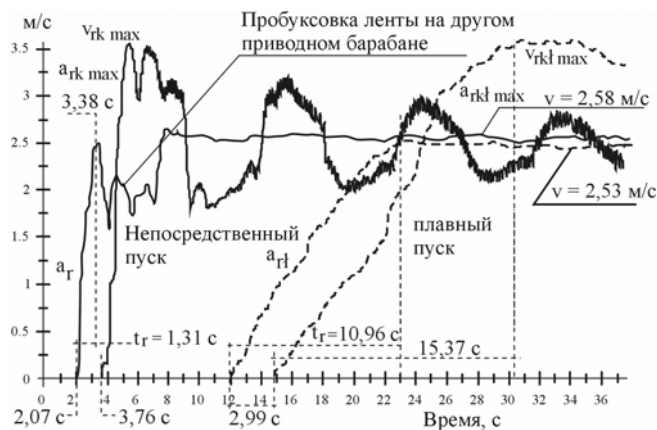


Рис. 6. Изменение скорости ленты в конвейере 3/GX на разгрузочном и хвостовом барабане во время непосредственного пуска незагруженного конвейера и плавного пуска конвейера с грузом 60,3 т

барабана до хвостового было бы не меньше пяти. Принимая во внимание, что скорость волны нагрузки незначительно больше 525 м/с, можно констатировать, что время плавного пуска равно 10,96, что больше  $5 \cdot (908/525) = 8,65$  с.

#### 5. Выводы

Применение в приводе ленточного конвейера тиристорного стартера существенно снижает динамические процессы, происходящие в ленте во время пуска. Снижается также динамическая нагрузка на ленту хвостового барабана (удаленного на около 1 км от разгрузочного барабана). Испытания показали, что в случае плавного пуска

снижается скорость распространения волны напряжений в ленте. Скорость эта была в среднем на 100 м/с ниже по сравнению со скоростью волны при непосредственном пуске. Аналогичным образом на снижение скорости движения упругой волны положительно влияет увеличение погонной нагрузки на ленту. На исследуемом конвейере была установлена негорючая лента из полиамида с тремя прокладками с сопротивлением разрыву 1000 Н/мм одной обкладками из хлоропреновой резины, изготовленная фирмой FTT Stomil Wolbrom S.A.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антоняк Е. Введение в теорию и расчет ленточных конвейеров. Изд. Силезская политехника Гливице, 2004.
2. Антоняк Е. Горные ленточные конвейеры нового поколения – энергоэкономные и надежные. Научные труды Силезской политехники, серия Горное дело № 257/2003, с. 259-271, Гливице, 2004.
3. Солтысик Л. Влияние устройства плавного пуска на работу горных ленточных конвейеров. Кандидатская диссертация. Силезская политехника. 1999.

#### Коротко об авторах

Антоняк Ежи – профессор, доктор технических наук, Силезский технический университет, Гливицы, Польша.