Записки Ленинградского ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени горного института, том XXXII, вып. 1, 1954 г.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ШАХТНОГО ГРУЗОВОГО ПОДЪЕМА С АСИНХРОННЫМ ПРИВОДОМ

Доц. А. Е. Максимов

Предисловие

Преимущества автоматического подъема, заключающиеся в увеличении производительности, повышении надежности работы и безопасности, а также освобождении труда высококвалифицированного машиниста и большое распространение в Советском Союзе подъемных установок с асинхронными двигателями делают проблему автоматизации подъема с асинхронным приводом весьма актуальной.

Решение этой проблемы начато с 1932—1933 гг. Однако, несмотря на двадцатилетний срок, истекший с момента первых исследований по этому вопросу, до сих пор задача полностью не разрешена. Причина этого кроется в неблагоприятных механических свойствах асинхронного двигателя, затрудняющих автоматизацию подъема, а также в известной односторонности предлагавшихся до сих пор решений, основанных, как правило, на использовании в период замедления колодочных механических тормозов. Несмотря на многочисленные исследования, проведенные в основном В. Б. Уманским и В. С. Тулиным, создать хорошие регуляторы хода, воздействующие на механический тормоз подъемной машины, до сих пор не удалось. И если автоматизация пуска подъемной машины является на сегодня решенной, то вопрос управления подъемной машиной в период замедления требует еще теоретической и экспериментальной проработки.

Анализ работы различных систем автоматизации подъема, основанный на сопоставлении механических характеристик различных тормозных устройств, позволяет критически оценить эти системы и наметить новые направления в решении задачи автоматизации грузового подъема с асинхронным приводом.

Критический обзор предложений по автоматизации шахтных подъемных установок с асинхронным приводом

Рабочий цикл подъема состоит, как известно, из четырех основных периодов: ускорения, полного хода, замедления и паузы.

Автоматизация пуска подъемной установки не представляет особых затруднений и не требует особой точности в отношении величины пути, пройденного подъемными сосудами с момента включения двигателя до момента достижения полной скорости подъема, так как в конце периода ускорения положение подъемных сосудов в стволе может быть произвольным.

Устройства, осуществляющие автоматический пуск системы, должны, в соответствии с заданными диаграммами скорости и усилий, выключать сопротивление реостата в цепи ротора асинхронного двигателя и не допускать чрезмерной его перегрузки. Для грузовых подъемов с относительно постоянной нагрузкой эта задача может быть решена путем применения реле времени, реле тока или серводвигателя, управляющего командоконтроллером. В подъемах общего назначения с переменной нагрузкой задача обычно решается путем применения стандартных электрических схем с реле тока и реле времени.

В период полного хода двигатель, работающий, как правило, на естественной характеристике, автоматически поддерживает нужную скорость подъема, причем, чем жестче механическая характеристика двигателя, тем отклонение действительной скорости от заданной при изменении статических сопротивлений меньше. Стандартные асинхронные двигатели с номинальным скольжением порядка 2—3% вполне удовлетворяют требованиям подъема и не нуждаются в период полного хода в каком бы то ни было искусственном регулировании для поддержания строго постоянной заданной скорости.

Более сложна задача автоматизации подъема в период замедления, в течение которого подъемный сосуд, во-первых, должен пройти строго определенный путь и, во-вторых, подойти к разгрузочным кривым с определенной минимальной скоростью, независимо от величины поднимаемого груза. При этом в конце периода замедления статические сопротивления могут резко меняться, а при опрокидных сосудах становиться даже отрицательными. Это, в свою очередь, требует быстрого перехода от тормозного режима к двигательному и обратно.

Для решения задачи автоматизации подъема в период замедления было предложено много способов. Из их числа необходимо отметить следующие:

1) осуществление периода замедления под контролем регулятора хода, воздействующего на колодочный механический тормоз с пневматическим или гидравлическим приводом;

2) осуществление периода замедления под контролем регулятора хода, воздействующего на статорный переключатель и роторный реостат подъемного асинхронного двигателя;

3) использование в период замедления подъемного асинхронного двигателя в режиме электродинамического торможения;

4) применение в период замедления двигательного режима с гашением скорости в конце подъема буферными устройствами механического или гидравлического типа;

5) контроль и регулирование скорости подъема посредством электрической машины постоянного тока, соединенной с валом подъемного асинхронного двигателя и управляемой, в свою очередь, по системе «генератор-двигатель» (Г-Д).

Большинство предложенных способов автоматизации подъема в период замедления базировалось на регуляторах хода, воздействующих на колодочный механический тормоз с пневматическим или гидравлическим приводом. Детальные аналитические исследования по этому вопросу были сделаны В. Б. Уманским [1, 3, 7]. Ряд электрических схем, применительно к этому способу автоматизации, был предложен В. С. Тулиным.

Первые работы В. Б. Уманского основаны на классической теории регулирования, причем математический анализ произведен без учета таких факторов, как нечувствительность, запаздывание, влияние массы регулятора и т. д. В последующих исследованиях эти факторы были учтены, но построенные регуляторы, воздействующие на механический

тормоз, все же работали неудовлетворительно, давая незатухающие колебания и не обеспечивая точного останова подъемной машины.

Дальнейшие исследования привели В. Б. Уманского к выводу, что «...управление тормозом при помощи даже весьма совершенного регулятора давления вследствие дефектов исполнительного органа тормоза дает совершенно неудовлетворительные результаты» [7, стр 113]. Другими словами, В. Б. Уманский пришел к выводу, что суть не в том, по какому принципу построен регулятор хода или какой регулятор давления (пневматический, гидравлический или центробежный) управляет тормозом, а в том, что колодочный тормоз подъемных машин, воздействующий на тормозные шкивы барабанов, является органом достаточно грубым и по своим механическим характеристикам мало пригодным для автоматического регулирования.

Несколько лучшие результаты удавалось получить при установке вспомогательного колодочного тормоза, воздействующего непосредственно на вал двигателя [11 и 12], но полностью задачи автоматизации подъема это также не решало.

Автоматизация подъема путем воздействия регулятора хода на статорный переключатель и роторный реостат подъемного асинхронного двигателя может дать положительные результаты при условии применения жидкостного роторного реостата или металлического реостата с большим числом ступеней и значительным общим сопротивлением. Как показали испытания опытной установки, смонтированной в лаборатории Ленинградского электротехнического института им. В. И. Ульянова (Ленина), по этому принципу может быть осуществлена автоматизация подъема не только в период замедления, но и в течение всего рабочего цикла [4]. Опытных промышленных подъемных установок, автоматизированных по этому принципу, в Советском Союзе не было выполнено. Известными недостатками этого способа атоматизации подъема являются возможные перенапряжения в обмотке статора двигателя, возникающие при выключении двигателя с большим сопротивлением в цепи ротора, а также отсутствие непрерывности при переходе с двигательного режима на тормозной и обратно, что отрицательно сказывается на работе привода при переменных статических сопротивлениях в период разгрузки, имеющих место, например, при опрокидных скипах.

Осуществление автоматического замедления с использованием асинхронного двигателя в режиме электродинамического торможения может дать удовлетворительные результаты в тех случаях, когда в течение всего периода замедления со стороны привода необходимы только тормозные усилия. Автоматизация подъемных установок, требующих в конце периода замедления тормозных и движущих усилий, не может быть решена без дополнительных специальных устройств, обеспечивающих работу привода и в двигательном и в тормозном режимах. В настоящее время в Советском Союзе уже накоплен опыт в области электродинамического торможения подъемных машин с асинхронным двигателем [9 и 13]. Этот опыт показывает, что в частных случаях посредством электродинамического торможения задача автоматизации подъема в период замедления может быть разрешена, но в общем случае, когда в период замедления возможны и положительные и отрицательные усилия, решение этой задачи затруднительно.

Применение в период замедления двигательного режима с гашением скорости в конце подъема буферными устройствами механического или гидравлического типа, вообще говоря, нежелательно, так как связано с неизбежными ударами.

Оригинальное буферное устройство — автоматический гидравлический замедлитель шахтного подъема — было предложено Кузбассгипрошахтом. Принципиально замедлитель Кузбассгипрошахта представляет собой гидравлический демпфер, поглощающий избыточную мощность подъемного двигателя в конце периода замедления. При свободном выбеге и торможении в период замедления гидравлический замедлитель не может быть использован. Конструктивно замедлитель представляет собой П-образную трубу, заполненную маслом. В одном колене трубы помещается поршень, на который садится опускающийся подъемный сосуд, а в другом колене — ряд конических насадок с отверстиями. Принцип работы замедлителя основан на создании динамических потерь, получаемых при истечении масла через сужающиеся отверстия насадок. Проект автоматической подъемной установки с замедлителем Кузбассгипрошахта не был реализован.

Днепрогипрошахтом была выдвинута идея контроля и регулирования скорости подъема в период полного хода и замедления посредством электрической машины постоянного тока, соединенной с валом подъемного асинхронного двигателя и управляемой, в свою очередь, по системе Г-Д. По расчетам Днепрогипрошахта необходимая мощность вспомогательной регулирующей машины постоянного тока должна была составлять около 10%, а мощность всей дополнительной системы Г-Д — 30% мощности подъемного двигателя.

Касаясь этой системы, следует отметить, что, во-первых, контроль и регулирование скорости подъемной машины в период полного хода при работе подъемного асинхронного двигателя на естественной механической характеристике излишни, так как асинхронный двигатель обладает достаточно жесткой естественной характеристикой и автоматически поддерживает скорость, близкую к заданной, а, во-вторых, указанная выше мощность дополнительной машины порядка 10% не может быть достаточна для корректирования скорости в тех случаях, когда в период замедления могут иметь место значительные положительные и отрицательные усилия. Увеличение же мощности дополнительной системы, состоящей из трех машин, нежелательно по экономическим соображениям.

Таким образом, основное направление, в котором много лет делались и делаются еще в настоящее время попытки автоматизации подъемных установок с асинхронным приводом, путем воздействия регуляторов хода на колодочные механические тормозы, не может дать хороших результатов в силу неблагоприятных механических свойств, присущих колодочным тормозам.

Остальные, рассмотренные в настоящем обзоре, способы автоматизации подъема с воздействием на электрические параметры системы могут дать положительные решения в частных случаях, при подходящих диаграммах движущих усилий.

Существенным недостатком научно-исследовательских работ, проводившихся до последнего времени в области автоматизации подъема, является увлечение формальным математическим анализом без серьезной экспериментальной проверки различных систем.

Приводимый ниже графический анализ механических свойств различных систем показывает, что универсальное решение задачи управления подъемом при любых диаграммах может быть получено при условии преобразования механических характеристик привода, путем включения подъемного асинхронного двигателя в период замедления на совместную работу с электро- или гидродинамическими тормозами.

Анализ работы асинхронного привода шахтной подъемной машины при различных способах управления

Основным недостатком асинхронного двигателя, затрудняющим управление им, является изменение наклона механических характеристик двигателя при различных сопротивлениях в цепи ротора. При выключенном роторном реостате двигатель обладает жесткой характеристикой, при включении роторного реостата характеристика смягчается.

На рис. 1 представлены рабочие участки двух механических характеристик асинхронного двигателя с фазовым ротором. При работе двигателя на естественной характеристике ($R_2 = R_{рот}$) изменение момента

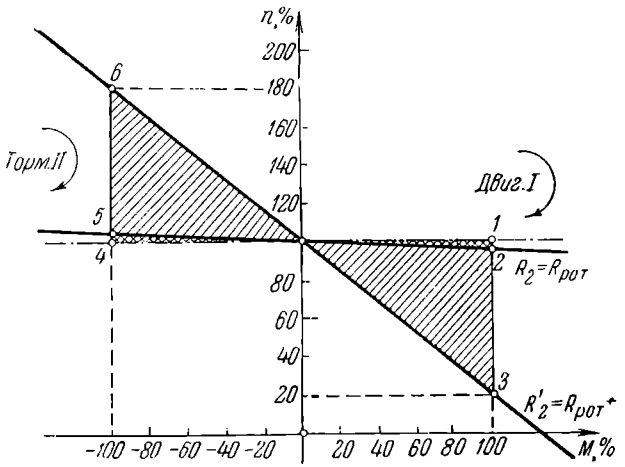


Рис. 1. Механические характеристики асинхронной машины при различных сопротивлениях в цепи ротора

статических сопротивлений от 100 до —100% влечет за собой изменение числа оборотов на величину отрезков *1—2* и *4—5*, т. е. приблизительно на 4—6%. При введении в цепь ротора реостата ($R_2' = R_{рот} + R_р$) то же колебание момента вызовет изменение числа оборотов на величину отрезков *1—3* и *4—6*, т. е. на 160%. Если в первом случае при работе на естественной характеристике положение аппарата управления обусловливает вполне определенную скорость вращения двигателя, то во втором случае между скоростью вращения двигателя и положением аппарата управления нет однозначной зависимости. Чем больше сопротивление, введенное в цепь ротора, тем ниже точность управления, ибо скорость подъема при этом зависит не только от положения аппарата управления, но и от величины и знака момента статических сопротивлений. Основные затруднения возникают обычно в конце подъема, когда переменные по величине, а иногда и по знаку статические сопротивления сочетаются с низкими скоростями.

Радикальным решением задачи повышения точности управления подъемом могло бы явиться регулирование скорости вращения приводного асинхронного двигателя за счет изменения частоты тока в обмотке статора. При таком регулировании механические характеристики перемещались бы вниз параллельно естественной, сохраняя свою жесткость, т. е. при любых скоростях вращения сохранялась бы однозначность между скоростью и положением аппарата управления, как это имеет место, например, в двигателях постоянного тока, управляемых по системе

Г-Д. Но проблема индивидуального асинхронного привода, управляемого за счет плавного и глубокого регулирования частоты, является еще не решенной. Известные системы преобразователей частоты достаточно сложны и дороги, в связи с чем система индивидуального асинхронного привода с преобразователем частоты не может экономически конкурировать с системой Г-Д постоянного тока, тем более, что механические характеристики асинхронного двигателя, управляемого за счет изменения частоты, хуже механических характеристик двигателя постоянного тока, а перегрузочная способность его ниже.

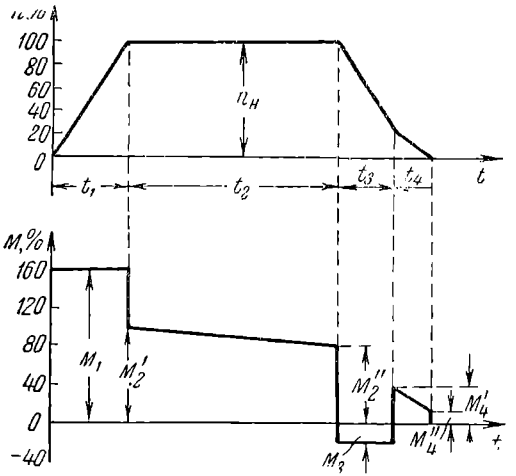


Рис. 2. Теоретические диаграммы подъема при скипах с донной разгрузкой

Итак, в подъемных установках с асинхронным приводом, регулируемых роторным реостатом, приходится считаться с фактом неизбежного понижения точности управления по мере уменьшения скорости подъема. Последнее сильно затрудняет управление двигателем в самый ответственный момент — при подходе сосудов к разгрузочным кривым и при их разгрузке.

Теоретические диаграммы подъема при скипах с донной разгрузкой и при опрокидных скипах представлены на рис. 2 и 3. Буквами t_1, t_2, t_3 и t_4 — соответственно обозначены периоды пуска, полного хода, большого замедления и разгрузки скипов. Величины M_1, M_2, M_3 и M_4 — соответственно характеризуют средний пусковой момент, момент статических сопротивлений в период полного хода и моменты в периоды большого замедления и разгрузки скипов. Величина $n_н$ соответствует номинальной скорости подъема.

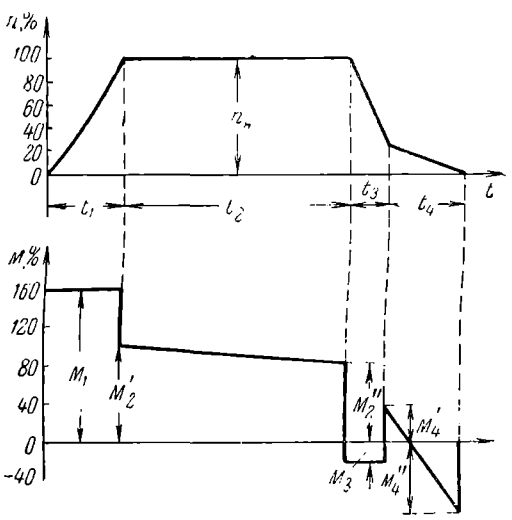


Рис. 3. Теоретические диаграммы подъема при опрокидных скипах

На диаграммах рис. 2 и 3 в период t_3 указан тормозной режим при $M_3 < 0$. В этот период также возможны режим свободного выбега при $M_3 = 0$ и режим подгонки (двигательный режим) при $M_3 > 0$ В период t_4 при скипах с донной разгрузкой статические сопротивления уменьшаются, но все же остаются положительными. При опрокидных скипах в конце периода t_4 статические сопротивления делаются отрицательными. Наиболее трудно выполним последний период диаграммы подъема t_4, в течение которого при резко меняющихся

статических сопротивлениях скорость подъема должна быть небольшой, изменяясь от некоторого минимального значения, соответствующего скорости входа сосудов в разгрузочные кривые, до нуля.

Для автоматического выполнения заданной диаграммы скорости в подъемах с асинхронным приводом обычно предлагаются те или иные регуляторы хода, воздействующие на колодочный механический тормоз (с пневматическим или гидравлическим приводом) или на электрическую аппаратуру управления. Принципиальная схема простейшего центробежного регулятора хода дана на рис. 4. Диск с приливом, соединенный с валом подъемной машины, воздействуя на ролик правого плеча рычага, задает расчетное число оборотов привода n_1. Центробежный регулятор, также соединенный с валом машины, воздействуя на ролик левого плеча рычага, характеризует фактическое число оборотов привода n_2. Средняя точка рычага, соединенная с электрическим органом управления или с приводом механического тормоза, управляет ими в зависимости от разности чисел оборотов $n_1 - n_2$.

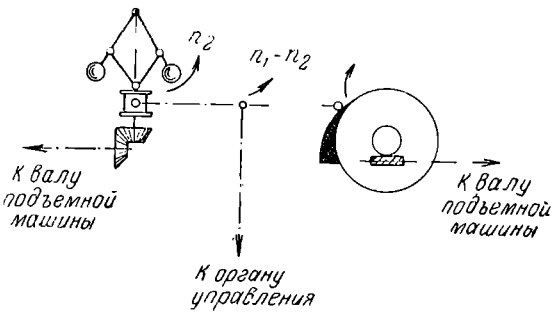


Рис. 4. Принципиальная схема регулятора хода подъемной машины

Автоматизация подъема при воздействии регулятора хода на привод колодочного тормоза

Механические характеристики колодочного тормоза изображены на рис. 5. Характеристики представляют собой прямые, параллельные оси ординат. Каждому нажатию колодок механического тормоза соответствует определенная характеристика, которая с достаточной для практики точностью выражается уравнением $M_т \approx \text{const}$. На рис. 5 показаны четыре характеристики *1 -1'*, *2—2'*, *3—3'* и *4—4'* соответствующие четырем положениям тормозных колодок. Чтобы при переменном усилии поддерживать постоянную скорость, необходимо непрерывно изменять нажатие тормозных колодок. При числе оборотов, равном 20%, этому соответствуют точки A_1, A_2, A_3 и A_4. Для выполнения такого условия, т. е. для поддержания в данном случае постоянной скорости при переменном усилии, необходимо непрерывное воздействие регулятора хода на систему тормозных устройств. Способностью саморегулирования, т. е. автоматического изменения тормозного усилия в зависимости от скорости вращения тормозных шкивов по отношению к тормозным колодкам, без внешнего воздействия со стороны регулятора,

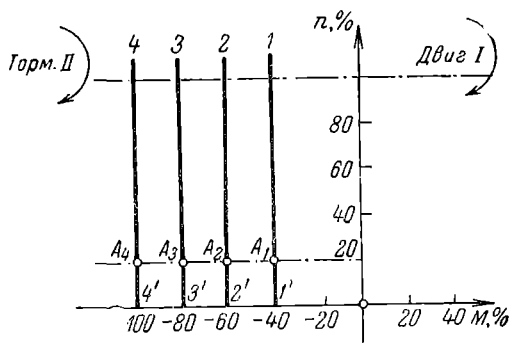


Рис. 5. Механические характеристики колодочного тормоза

колодочные тормозы не обладают. В этом одно из основных слабых мест колодочных тормозов, делающее их мало пригодными для автоматического регулирования скорости подъема. Пользуясь терминологией, принятой для выражения механических свойств электрических приводов, можно сказать, что у механических характеристик колодочных тормозов нет никакой жесткости, или, другими словами, они абсолютно мягкие.

Совмещенные механические характеристики асинхронного двигателя и колодочного тормоза представлены на рис. 6. Характеристика *5—5′* выражает механические свойства асинхронного двигателя, работающего с добавочным сопротивлением в цепи ротора. Характеристики *1—1′*, *2—2′*, *3—3′* и *4—4′* относятся к колодочному тормозу и выражают его меха-

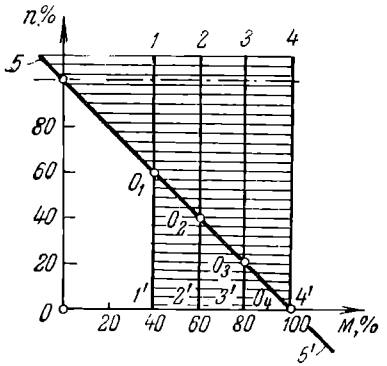


Рис. 6. Совмещенные механические характеристики асинхронного двигателя и колодочного тормоза

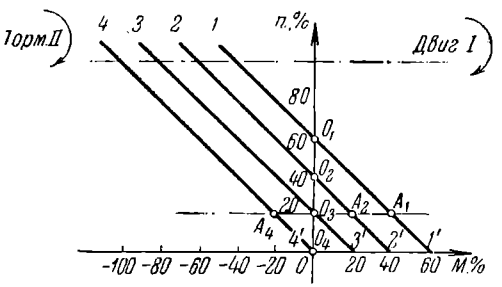


Рис. 7. Результирующие механические характеристики асинхронного двигателя и колодочного тормоза

нические свойства при различном нажатии тормозных колодок. Точки пересечения характеристик O_1, O_2, O_3 и O_4 соответствуют режимам, при которых вращающий момент, развиваемый двигателем, уравновешивается тормозным моментом, создаваемым тормозом. Результирующий момент привода (двигатель-тормоз) в этих точках равен нулю. В области, лежащей выше точек пересечения характеристики *5—5′* с тормозными характеристиками, величина тормозных моментов превышает величину вращающего момента, развиваемого двигателем. Результирующий момент привода в этой области отрицательный, тормозной. В области, лежащей ниже точек пересечения характеристик, вращающий момент двигателя превышает соответственные тормозные моменты, и результирующий момент привода в этой области положительный, движущий.

Результирующие механические характеристики асинхронного двигателя и колодочного тормоза (рис. 7) представляют собой семейство наклонных прямых, параллельных характеристике *5—5′* асинхронного двигателя (рис. 6). В точках O_1, O_2, O_3 и O_4 результирующие моменты привода равны нулю. Как видно из рис. 7, результирующие характеристики обладают известной способностью саморегулирования: при изменении скорости вращения привода величина момента автоматически изменяется, но все же эти характеристики достаточно мягки и не могут обеспечить поддержания постоянной скорости при переменном усилии. Чтобы при переменном усилии поддерживать постоянную скорость, необходимо непрерывно изменять силу нажатия тормозных колодок, воздействуя на колодочный тормоз тем или иным регулятором: точки A_1, A_2, O_3, A_4.

Диаграмма управления скиповым подъемом при использовании в период замедления колодочного тормоза приведена на рис. 8. Она

построена применительно к диаграммам скорости и усилий, приведенным на рис. 2 и 3. Участок диаграммы *0—1—2—3* соответствует пусковому периоду, в течение которого происходит постепенное выключение роторного реостата асинхронного двигателя, участок *3—4* — работе двигателя на естественной характеристике в период полного хода, участок *4—5* — переходу с двигательного режима на механическое торможение. В период большого замедления (участок *5—6*) поддерживается постоянное тормозное усилие. В конце этого периода действие тормоза прекращается и снова включается подъемный двигатель, причем в ротор его вводится такое сопротивление, которое необходимо для обеспечения расчетного положительного момента (участок *6—7*) Для выполнения заданной диаграммы скорости при постепенно уменьшающемся положи-

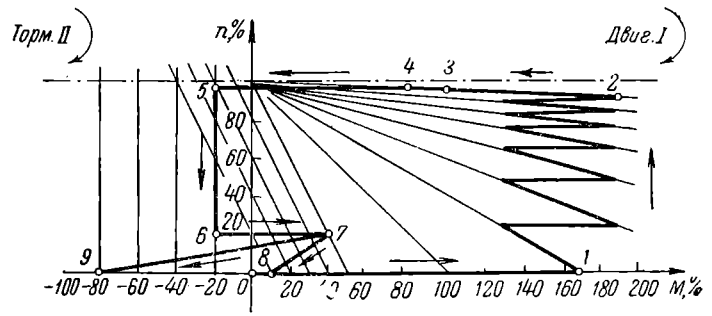


Рис. 8. Диаграмма управления скиповым подъемом при использовании в период замедления колодочного тормоза

тельном моменте, соответствующем опорожнению скипов с донной разгрузкой (рис. 2), приходится в течение последнего периода применять комбинированную работу двигателя с тормозом. На диаграмме управления этому периоду соответствует участок *7—8*. В точке *8* двигатель выключается и машина застопоривается механическим тормозом. При опрокидных скипах (рис. 3) в начале периода разгрузки, когда момент положительный, приходится применять совместную работу двигателя с тормозом, а затем, когда момент становится отрицательным, пользоваться только тормозом при выключенном двигателе. На диаграмме управления этим операциям соответствует участок *7—9* (рис. 8).

Как видно из разобранной диаграммы, управление приводом скипового подъема относительно сложно и требует в конце периода замедления (при разгрузке скипов) достаточной быстроты и точности. При ручном управлении это достигается высокой квалификацией и опытом машиниста, при автоматическом — точным действием управляющих устройств.

Отсутствие у колодочных тормозов свойств саморегулирования приводит к необходимости непрерывного воздействия на них в период замедления регуляторов хода. Последние могут действовать достаточно точно, однако сами колодочные тормозы, не обладая необходимой чувствительностью, вносят в систему управления такие погрешности, которые обесценивают все качества точных регуляторов.

Детальные экспериментальные исследования колодочных тормозов с пневматическими и гидравлическими приводами, проведенные В. Б. Уманским, показали, что при быстром воздействии регулятора хода на привод механического (колодочного) тормоза наблюдается смещение между кривыми, характеризующими процесс возрастания и убывания

давления на тормозные колодки [7]. При одних и тех же углах поворота рычага, связанного с регулятором давления, при затормаживании и оттормаживании получаются различные тормозные усилия. Образуется так называемая петля «гистерезиса» (рис. 9). Прямая *1—5* характеризует процесс возрастания давления, прямая *6—10* — процесс убывания давления. При затормаживании изменение угла поворота рычага регулятора давления от α_1 до α_2 вызывает изменение давления на колодки от P_1 до P_2, а при оттормаживании изменение угла поворота того же рычага от α_2 до α_1 вызывает изменение давления не от P_2 до P_1, а от P_3 до P_2, т. е. при одном и том же угле поворота рычага регулятора давления в процессе затормаживания и оттормаживания получаются неодинаковые тормозные усилия. Чем быстрее передвигается рычаг управления, т. е. чем короче периоды регулирования, тем площадь петли «гистерезиса» получается больше, а точность управления ниже.

Отсутствие у колодочных тормозов свойств саморегулирования и наличие явления «гистерезиса» являются основными факторами, затрудняющими автоматизацию посредством этих тормозов периода замедления. Следует также отметить, что применение в период замедления механического торможения вынуждает проектировать диаграммы подъема в период большого замедления t_3, как правило, с отрицательными усилиями. Осуществление режимов свободного выбега и подгонки в этом случае затруднительно.

Автоматизация подъема при воздействии регулятора хода на роторный реостат и статорный переключатель приводного асинхронного двигателя

Автоматизация подъема путем воздействия регулятора хода на электрическую часть управления приводом — роторный реостат и статорный переключатель — может быть осуществлена при условии использования жидкостного или многоступенчатого металлического реостата с большим общим сопротивлением. При этом в период замедления может применяться двигательный режим или торможение противотоком, а по окончании цикла подъема машина должна застопориваться механическим тормозом [4 и 7].

Механические характеристики асинхронной машины, соответствующие сопротивлениям роторной цепи $R_2 = R_{\text{рот}}$ и $R_{2\max} = R_{\text{рот}} + R_{\text{р max}}$ при вращении магнитного потока по часовой стрелке и в обратном направлении, представлены на рис. 10. Промежуточные характеристики (между R_2 и $R_{2\max}$) не показаны. Участки характеристик *I* и *III* четвертей соответствуют двигательному режиму, участки характеристик *II* и *IV* четвертей — тормозным режимам: генераторному с отдачей энергии в сеть и противотоку. Работа асинхронной машины возможна в зоне, заключенной между естественными характеристиками и характеристиками, соответствующими наибольшему сопротивлению, вводимому в цепь ротора. Заштрихованная площадка представляет собой «мертвую зону», в пределах которой управление машиной невозможно. Исключить эту «мертвую зону» можно только теоретически, предположив величину сопротивления роторного реостата бесконечно большой. Практически даже при использовании жидкостного реостата сопротивление ограничивается некоторой конечной величиной, обусловленной минимальным погружением ножей в электролит, а в конструкциях реостатов с погруженными ножами — максимальным расстоянием между неподвижными и подвижными электродами. Кроме того, при определении величины «мертвой зоны» приходится считаться с перенапряжениями, возникающими

в статорной обмотке при выключении двигателя с большим сопротивлением в цепи ротора.

Кривые, характеризующие величину перенапряжения в статорной обмотке асинхронного двигателя с фазовым ротором при его выключении, приведены на рис. 11 [11]. Кривые показывают зависимость перенапряжения от величины минимального пускового момента, развиваемого двигателем при неподвижном роторе, и тока намагничивания. По оси абсцисс отложено отношение пускового момента $M_п$ к номинальному $M_н$, а по оси ординат — отношение э. д. с. E_1, наводимой исчезающим магнитным потоком в обмотке статора, к номинальной э. д. с. статора $E_н$. Токи намагничивания J_0 выражены в процентах по отношению к номинальному току двигателя. Чем больше сопротивление, введенное в цепь ротора двигателя, тем меньше его пусковой момент и тем больше величина перенапряжения, возникающего в обмотке статора при выключении двигателя или переключении его с двигательного режима на противоток. Обычно по условиям ограничения величины перенапряжений наименьший пусковой момент принимается не ниже 30% номинального; при этом, в зависимости от величины тока намагничивания, отношение $E_1/E_н$ колеблется в пределах от 2,0 до 2,5. При отношении $M_п/M_н < 0{,}2$ возникают опасные перенапряжения, требующие применения для двигателей, особенно при высоком напряжении, усиленной изоляции. По конструктивным соображениям, связанным с устройством жидкостных реостатов, минимальный пусковой момент не может быть получен ниже 10% номинального. Таким образом, даже при максимальном практически возможном сопротивлении роторного реостата величина момента в пределах «мертвой зоны» будет составлять около 20% номинального. Наличие этой «мертвой зоны» нарушает непрерывность управления двигателем при переходе с двигательного режима на торможение противотоком и обратно, а также исключает возможность применения автоматизации замедления при режиме свободного выбега.

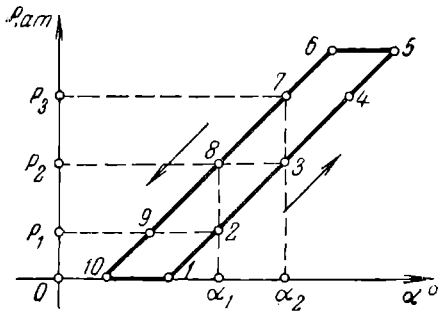


Рис. 9. Петля «гистерезиса» для колодочных тормозов с пневматическим и гидравлическим приводами

Диаграмма управления скиповым подъемом при воздействии регулятора хода на роторный реостат и статорный переключатель приведена на рис. 12. Так же как и на рис. 8, диаграмма построена применительно к диаграммам скорости и усилий, приведенным на рис. 2 и 3. Участок диаграммы *0—1—2—3—4* соответствует пусковому периоду, при котором происходит постепенное выключение роторного реостата, и периоду полного хода. Участок *4—5* соответствует переходу с двигательного режима на торможение противотоком. На участке *5—6* происходит торможение противотоком при постепенном выключении сопротивления, введенного в начале торможения в цепь ротора. В конце периода большого замедления снова осуществляется переход на двигательный режим (участок *6—7*).

В период опорожнения скипа с донной разгрузкой в цепь ротора двигателя вводится сопротивление до тех пор, пока машина не остановится (участок *7—8*), а при опрокидных скипах вначале вводится сопротивление (при двигательном режиме), а затем осуществляется переход на торможение противотоком, после чего сопротивление из цепи ротора

постепенно выводится до полного останова машины. Застопоривание машины в обоих случаях производится механическим тормозом.

При жидкостном реостате происходит бесступенчатое регулирование. Изображенная на рис. 12 ступенчатая диаграмма управления условно имеет в виду металлический ступенчатый реостат. Заштрихованная площадка соответствует «мертвой зоне», в пределах которой регулирование неосуществимо.

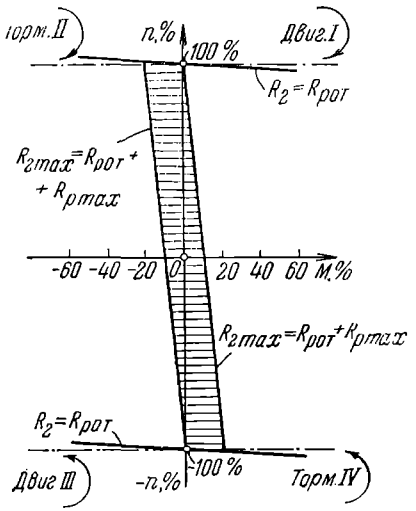


Рис. 10. «Мертвая зона» при управлении асинхронным двигателем посредством роторного реостата

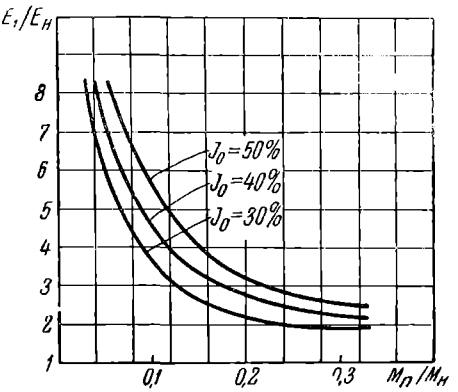
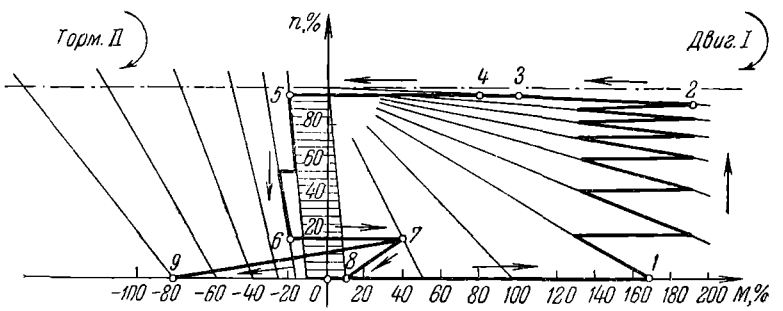


Рис. 11. Кривые, характеризующие величину перенапряжения в статорной обмотке асинхронного двигателя с фазовым ротором при его выключении, в зависимости от величины пускового момента и тока намагничивания

Достоинством разобранного способа управления подъемной машиной является универсальность его в смысле воздействия регулятора хода в течение всего цикла подъема на одни и те же элементы аппаратуры



12. Диаграмма управления скиповым подъемом при использовании в период замедления торможения противотоком

управления, а также возможность достаточно строгого выполнения заданной диаграммы скорости подъема при различном весе поднимаемых грузов. Слабым местом этого способа управления является наличие «мертвой зоны», нарушающей непрерывность управления (при переходе с двигательного режима на тормозной и обратно) и исключающей возможность использования в период замедления режима свободного выбега, а также относительная сложность электрических переключений

в конце подъема при разгрузке опрокидных скипов, требующая высокой точности действия всех элементов автоматизированной системы. Предпочтение при этой системе управления следует отдавать жидкостным реостатам.

Автоматизация подъема на базе использования приводного асинхронного двигателя в режиме электродинамического торможения

Подъемный асинхронный двигатель может работать в режиме электродинамического торможения при условии питания обмотки его статора постоянным током [9, 13]. В этом режиме подъемный двигатель может использоваться для торможения машины в период замедления.

Механические характеристики двигателя при различном сопротивлении в цепи ротора даны на рис. 13. Характеристики *I* четверти относятся к двигательному режиму, характеристики *II* четверти — к режиму электродинамического торможения. На рисунке показаны только рабочие участки характеристик, которые с известным приближением могут быть изображены в виде пучка прямых. Естественная характеристика двигателя при режиме электродинамического торможения — жесткая, при введении в цепь ротора реостата характеристики смягчаются. До известной степени наклон характеристик также может регулироваться за счет изменения величины тока возбуждения. Перегрузочная способность асинхронной машины в режиме электродинамического торможения ниже, чем при двигательном режиме. Для нормальных асинхронных двигателей перегрузка при двигательном режиме допускается до 200%, при электродинамическом торможении 120—150%.

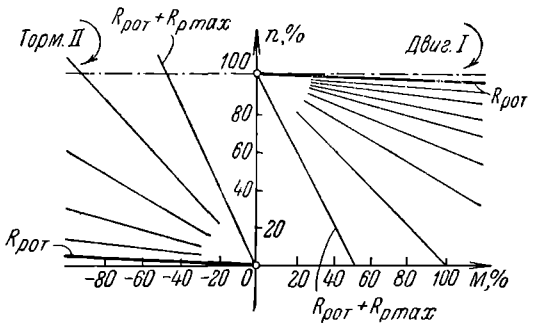


Рис. 13. Механические характеристики асинхронной машины с фазовым ротором при двигательном режиме и режиме электродинамического торможения

Асинхронный двигатель в режиме электродинамического торможения, так же как и при двигательном режиме, обладает способностью саморегулирования, т. е. при работе в режиме электродинамического торможения, при некотором фиксированном сопротивлении в цепи ротора, величина тормозного момента автоматически изменяется с изменением скорости вращения двигателя. Чем меньше сопротивление, введенное в цепь ротора, тем характеристика жестче и тем больше способность машины к саморегулированию. В этом отношении режим электродинамического торможения благоприятен для автоматизации подъема в период замедления, но только в тех случаях, когда в течение всего периода замедления со стороны привода необходимы только тормозные усилия. В тех же случаях, когда в течение периода замедления могут потребоваться и тормозные и движущие усилия, автоматизация периода замедления только на базе электродинамического торможения не может быть разрешена. В этих случаях необходимы те или иные дополнительные устройства, обеспечивающие работу привода при переменном по знаку усилии.

Для иллюстрации этого на рис. 14 приведена диаграмма управления скиповым подъемом применительно к диаграммам скорости и усилий, изображенным на рис. 2 и 3. Участок диаграммы *0—1—2—3—4* соответствует пусковому периоду и периоду полного хода двигателя. На участке *4—5* происходит переключение асинхронной машины с двигательного режима на электродинамическое торможение, для чего статор машины выключается из сети трехфазного тока и включается в сеть постоянного тока. Одновременно в цепь ротора вводится сопротивление реостата. Участок *5—6* соответствует режиму динамического торможения при постепенном выключении ступеней роторного реостата. Для перехода (в начале периода разгрузки скипа) от тормозного режима к двигательному необходимо снова включить машину в сеть трехфазного тока и ввести соответственное сопротивление в цепь ротора (уча-

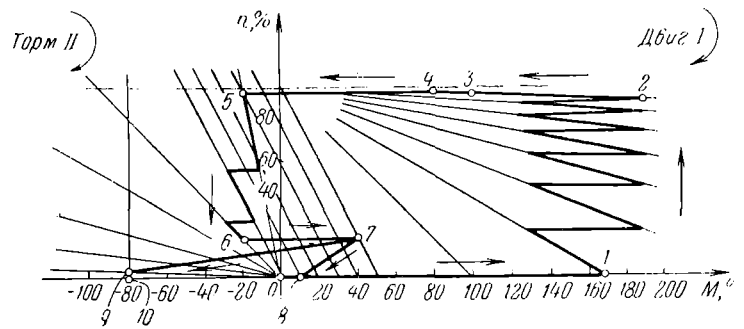


Рис. 14. Диаграмма управления скиповым подъемом при использовании в период замедления электродинамического торможения

сток *6—7*). В дальнейшем при опорожнении скипа с донной разгрузкой приходится применять совместную работу подъемного двигателя с механическим тормозом (участок *7—8*), а при опрокидных скипах вначале применять совместную работу подъемного двигателя с механическим тормозом, а затем пользоваться динамическим торможением и, наконец, застопоривать машину механическим тормозом (участок *7—9—10*). Управление получается сложное и неудобное для автоматизации, так как в течение нескольких секунд несколько раз меняется способ управления машиной.

Известным выходом из положения является совмещение в период разгрузки скипа двигательного и тормозного режимов путем наложения в обмотке статора постоянного тока на переменный. Однако даже и в этом случае возникают затруднения, связанные с тем, что введение роторного реостата при двигательном и тормозном режимах вызывает различный эффект. Для понижения скорости при двигательном режиме нужно вводить реостат, т. е. увеличивать сопротивление, а при тормозном режиме наоборот — выводить реостат, т. е. уменьшать сопротивление. Поэтому при наложении токов приходится выбирать какую-либо одну ступень роторного реостата, обеспечивающую приемлемую работу двигателя при совмещении двигательного и тормозного режимов, и дальнейшее регулирование осуществлять за счет изменения величины напряжения постоянного тока (тока возбуждения) при постоянном сопротивлении в цепи ротора двигателя.

На рис. 15 представлена одна из возможных комбинаций такого режима работы. Механическая характеристика асинхронной машины при двигательном режиме изображена прямой *1—1′*, а повернутая на 180°

(относительно оси ординат) механическая характеристика той же машины при динамическом торможении — прямой *2—2′* В точке пересечения характеристик 0_1 движущий и тормозной моменты равны между собой. Результирующий момент в этой точке равен нулю. В области, лежащей ниже точки 0_1 (треугольник 0_1—*1′*—*2′*), результирующий момент положительный. В области, лежащей выше точки 0_1 (треугольник 0_1—*1*—*2*), результирующий момент отрицательный. Результирующая механическая характеристика при наложении постоянного тока на переменный изображена прямой *3—3′* Полученная результирующая механическая характеристика обеспечивает саморегулирование и бесступенчатый переход от двигательного режима (участок *3′*—0_2) к тормозному (участок 0_2—*3*). Однако эта характеристика не обладает достаточной для завершения подъема жесткостью и не может регулироваться в широких пределах, ибо она соответствует некоторому определенному сопротивлению роторного реостата $R_р$ = = const, которое по указанным выше соображениям произвольно меняться не может.[1]

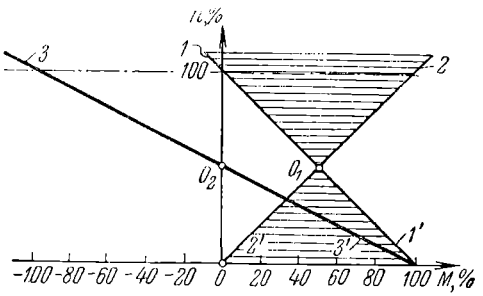


Рис. 15. Совмещенные и результирующая механические характеристики асинхронного двигателя с фазовым ротором при одновременном питании статора постоянным и переменным током

Итак, использование для автоматизации подъема в период замедления приводного асинхронного двигателя в режиме электродинамического торможения может обеспечить успешное решение задачи в частных случаях, когда к приводу не предъявляется требования быстрого автоматического перехода с двигательного режима к тормозному и обратно. В общем случае использование приводного двигателя в режиме динамического торможения не разрешает проблемы полной автоматизации грузовых подъемов.

Анализ работы систем с использованием в период замедления двигательного режима с гашением скорости буферными устройствами, а также систем с контролем скорости посредством специальной машины, управляемой по схеме Г-Д (см. выше), не дается, так как первая из этих систем связана с неизбежными ударами, а вторая может оправдать себя только при незначительной мощности вспомогательных машин, т. е. в сравнительно редких случаях, когда в период замедления исключается возможность появления значительных положительных или отрицательных усилий.

Автоматизация подъема при асинхронном приводе с электродинамическим и гидродинамическим тормозами

Затруднения, связанные с автоматизацией подъема в период замедления, могут быть устранены в случае применения электродинамических и гидродинамических тормозов, соединенных с валом подъемного асинхронного двигателя. При совместной работе асинхронного двигателя с указанными тормозами могут быть получены результирующие характеристики, приемлемые для полной автоматизации подъема в общем случае [2, 4].

[1] Более жесткая результирующая характеристика может быть получена при компаундировании, т. е. при автоматическом изменении тока возбуждения.

Подъемная машина с электродинамическим тормозом, в виде тормозного генератора, представлена на рис. 16. В качестве тормозного генератора может быть использована машина постоянного тока с независимым, последовательным или смешанным возбуждением. В данной работе рассмотрен вариант с машиной независимого возбуждения.

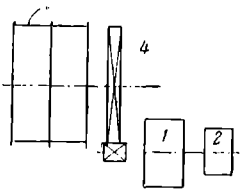


Рис. 16. Подъемная машина с тормозным генератором:
1 — подъемный асинхронный двигатель; *2* — тормозной генератор; *3, 4* — соответственно барабан и зубчатая передача подъемной машины

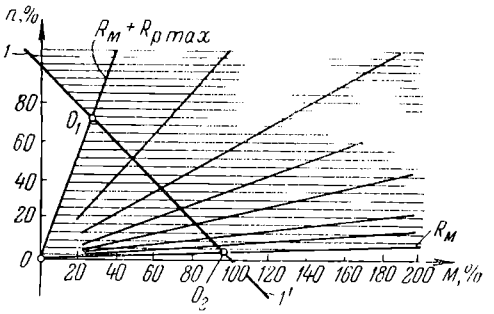


Рис. 17 Совмещенные механические характеристики асинхронного двигателя и тормозного генератора

Совмещенные механические характеристики асинхронного двигателя и тормозного генератора с независимым возбуждением приведены на рис. 17. Прямая *1—1'* представляет механическую характеристику асинхронного двигателя, работающего с реостатом в цепи ротора. Пучок прямых, пересекающих характеристику асинхронного двигателя, изображает механические характеристики генератора, работающего электродинамическим тормозом при различных сопротивлениях в цепи якоря. В точках пересечения характеристики асинхронного двигателя с тормозными характеристиками, например в точках O_1 и O_2, результирующие моменты привода «асинхронный двигатель — тормозной генератор» равны нулю, так как движущий и тормозной моменты в этих точках взаимно уравновешиваются. Область, лежащая ниже точек пересечения тормозных характеристик с характеристикой асинхронного двигателя, соответствует положительному, т. е. движущему результирующему моменту привода. Область, находящаяся выше этих точек, соответствует отрицательному, т. е. тормозному результирующему моменту привода.

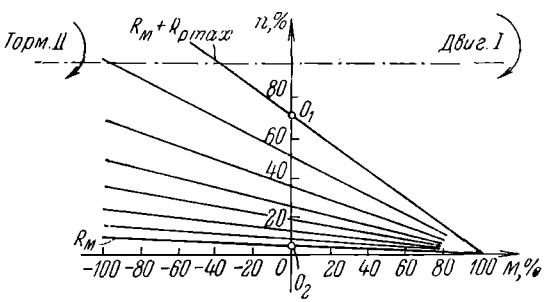


Рис. 18. Результирующие механические характеристики асинхронного двигателя и тормозного генератора

Результирующие механические характеристики асинхронного двигателя и тормозного генератора приведены на рис. 18. В точках пересечения характеристик с осью ординат, например в точках O_1 и O_2, результирующие моменты привода равны нулю. Участки характеристики, расположенные справа от оси ординат, соответствуют двигательному режиму; участки, расположенные слева от оси ординат, относятся к тормозному режиму.

Полученные результирующие характеристики отвечают основным требованиям, предъявляемым к приводу автоматизированного подъема. Они обеспечивают саморегулирование, непрерывность управления и бесступенчатый переход от двигательного режима к тормозному, а также обладают достаточной жесткостью при низких скоростях, что дает возможность автоматически поддерживать приблизительно постоянную скорость при переменном усилии в период разгрузки скипов. Жесткость характеристик по мере уменьшения скорости увеличивается, что обеспечивает повышение точности управления по мере приближения подъемных сосудов к разгрузочным кривым. В этом отношении результирующие характеристики выгодно отличаются от характеристики асинхронного двигателя, у которого по мере уменьшения скорости (за счет введения в ротор реостата) характеристики смягчаются и точность управления понижается.

При определении мощности тормозного генератора нужно иметь в виду, что в точках холостого хода привода, например в точках 0_1 и 0_2 (рис. 17 и 18), результирующий момент равен нулю, но генератор в этих точках нагружен, ибо его тормозной момент уравновешивает вращающий момент подъемного асинхронного двигателя. По мере понижения скорости привода величина вращающего момента асинхронного двигателя, работающего при некотором определенном сопротивлении в цепи ротора, увеличивается (характеристика *1—1'*, рис. 17). Это вызывает соответственное увеличение тормозного момента и, следовательно, нагрузки генератора. Величина нагрузки генератора при работе комбинированного привода вхолостую зависит и от величины сопротивления, введенного в цепь ротора подъемного асинхронного двигателя. Чем больше это сопротивление, тем нагрузка генератора меньше. Допуская в точке 0_2 кратковременную перегрузку тормозного генератора порядка двукратной, можно принять номинальный тормозной момент генератора равным половине номинального момента подъемного асинхронного двигателя. При этом на участках результирующих характеристик, соответствующих двигательному режиму привода (рис. 18), т. е. при положительном моменте, перегрузка тормозного генератора будет меньше двукратной, а на участках характеристик, соответствующих тормозному режиму, т. е. при отрицательном моменте, перегрузка генератора будет больше двукратной. При изменении результирующего момента в пределах от 100 до — 50% нагрузка тормозного генератора будет колебаться от 0 до 300%, что для машин постоянного тока, работающих в режиме электродинамического торможения, учитывая кратковременный характер перегрузки, можно считать допустимым.

При скиповых подъемах величина наибольшего положительного момента в период разгрузки скипов может достигать 60—100% по отношению к номинальному моменту подъемного двигателя. Это позволяет на основании приведенных выше соображений принимать номинальный момент тормозного генератора равным 30—50% по отношению к номинальному моменту подъемного двигателя. При одинаковой быстроходности асинхронного подъемного двигателя и тормозного генератора мощность последнего, следовательно, составит 30—50% номинальной мощности подъемного двигателя.

Подъемная машина с гидродинамическим тормозом представлена на рис. 19, принципиальное устройство редуктора с гидродинамическим тормозом — на рис. 20. Гидродинамический тормоз представляет собой по существу центробежную гидромуфту (турбомуфту), у которой одно из рабочих колес (турбинное) закреплено неподвижно. Регулирование тормозного момента гидродинамического тормоза может осуществляться

в широких пределах за счет изменения степени заполнения рабочей полости посредством регулировочного крана *8*, а также вентиля *9*. Гидродинамический тормоз может работать на воде или минеральном масле небольшой вязкости (порядка 2—4°) При конструктивном объединении гидродинамического тормоза с редуктором, естественно, нужно использовать масло, причем сорт масла в этом случае должен удовлетворять требованиям и редуктора, и гидротормоза [8]. Питание гидродинамического тормоза должно производиться специальным питательным насосом мощностью 1—2% от мощности подъемного двигателя. Цикл масляной системы должен быть замкнутым. Масло должно поступать в питательный насос из корпуса редуктора и возвращаться из гидротормоза обратно в корпус.

Гидродинамический тормоз в разобранном виде представлен на рис. 21. Лопатки рабочих колес плоские радиальные. Материалом для рабочих колес могут служить: сталь, чугун, силумин, а также теплостойкие пластмассы.

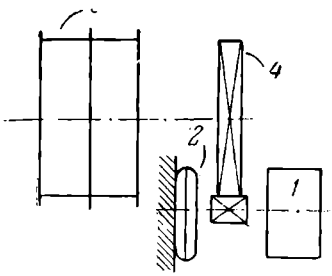


Рис. 19. Подъемная машина с гидродинамическим тормозом:
1 — подъемный асинхронный двигатель; *2* — гидротормоз; *3, 4* — соответственно барабан и зубчатая передача подъемной машины

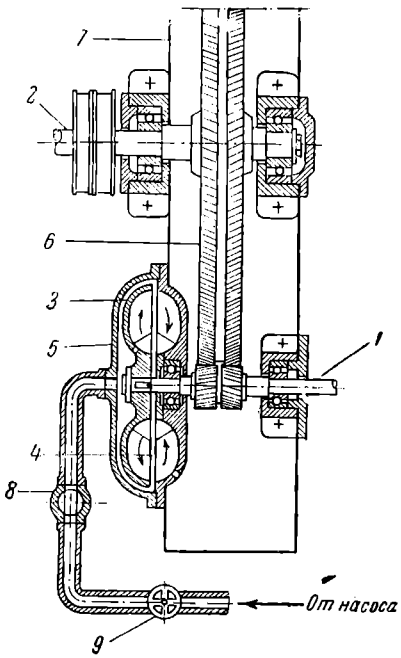


Рис. 20. Устройство редуктора с гидродинамическим тормозом:
1, 2 — соответственно валы подъемного двигателя и барабана; *3* — насосное колесо гидродинамического тормоза, соединенное с валом подъемного двигателя; *4* — турбинное колесо гидродинамического тормоза (неподвижное), соединенное с корпусом редуктора; 5 — чаша, соединенная с турбинным колесом и корпусом редуктора; *6* — зубчатая передача; *7* — корпус редуктора; *8* — регулировочный кран; *9* — ручной вентиль

Тормозная характеристика гидродинамического тормоза при переменных значениях числа оборотов насосного колеса $n_{1т}$ и активного диаметра рабочих колес $D_т$ выражается формулой

$$M_т = Kn_{1т}^2 D_т^5.$$

При $D_т = \text{const}$

$$M_т = K_1 n_{1т}^2,$$

т. е. в этом случае зависимость тормозного момента $M_т$ от числа оборотов насосного колеса $n_{1т}$ выражается параболой с коэффициентом K_1, зависящим от конструкции рабочих колес, величины активного диаметра, величины щели между рабочими колесами и рода рабочей жидкости.

Для определения активного диаметра рабочих колес гидродинамического тормоза можно пользоваться номограммой (рис. 22), обычно приводимой для центробежных гидропередач (турбопередач), работающих в качестве гидромуфт. Активный диаметр рабочих колес D, определенный по этой номограмме при номинальном скольжении порядка 3%, номинальном числе оборотов насосного колеса $n_{1н}$ (об/мин) и номинальной мощности $P_н$ (*квт*), соответствующей номинальному моменту $M_н$ (*кгм*), принимаемым за 100% пересчитывается затем по формуле (при $M_т$ = const)

$$D_т = D \sqrt[5]{\left(\frac{n_1}{n_{1т}}\right)^2}$$

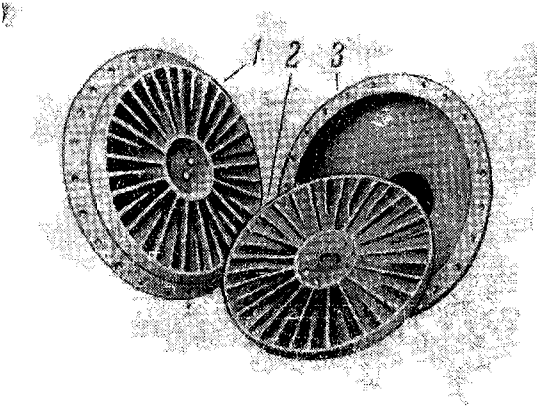


Рис. 21. Рабочие колеса гидродинамического тормоза:
1 — турбинное колесо; *2* — насосное колесо; *3* — чаша

где $D_т$ — активный диаметр рабочих колес турбопередачи, работающей в качестве гидродинамического тормоза, т. е. при $s = 1$, при заданном числе оборотов насосного колеса $n_{1т}$ и заданном тормозном моменте $M_т$;

D — активный диаметр рабочих колес турбопередачи при тех же условиях, но некотором другом числе оборотов насосного колеса n_1.

Величина n_1 определяется на основании зависимости (при D = const)

$$n_1 = \frac{n_{1н}}{\sqrt{\frac{M_{т\,(н)}}{M_т}}},$$

где $M_{т\,(н)}$ — тормозной момент, который может создать турбопередача с активным диаметром D при полном заполнении рабочей

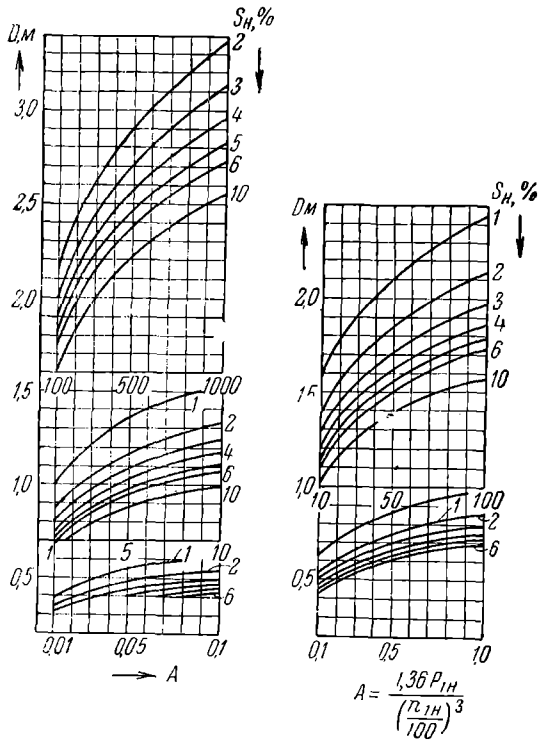


Рис. 22. Номограмма для определения активного диаметра рабочих колес центробежных гидропередач:
$P_{1н}$ — номинальная мощность, передаваемая гидромуфтой, *квт*; $n_{1н}$ — номинальное число оборотов насосного колеса, об/мин

полости ($Q = 100\%$), номинальном числе оборотов насосного колеса $n_{1н}$ и скольжении $s = 1$;

$M_т$ — заданный тормозной момент, который может создать турбопередача с активным диаметром D при тех же условиях, но числе оборотов насосного колеса n_1.

Пример. Турбопередача с активным диаметром рабочих колес D, определенным по номограмме рис. 22 при $s = 3\%$, $n_{1н}$ (об/мин) и мощности $P_{1н}$ (*квт*), соответствующей номинальному моменту $M_н$ (*кгм*), принятому за 100%, при работе в качестве электродинамического тормоза, т. е. при $s = 1$, создает при $n_{1т} = 100\%$ и $Q = 100\%$ тормозной момент $M_{т(н)} = 600\%$.

Определить необходимый активный диаметр турбопередачи, работающей в качестве электродинамического тормоза при $n_{1т} = 10\%$ и $M_т = 100\%$.

Решение: 1. При $D = \text{const}$

$$n_1 = \frac{n_{1н}}{\sqrt{\frac{M_{т(н)}}{M_т}}} = \frac{100}{\sqrt{\frac{600}{100}}} = \frac{100}{2{,}45} \approx 40\%,$$

т. е. турбопередача с активным диаметром D при заторможенном турбинном колесе создает тормозной момент $M_т = 100\%$ при числе оборотов насосного колеса $n_1 = 40\%$.

2. При $M_т = 100\% = \text{const}$

$$D_т = D \sqrt[5]{\left(\frac{n_1}{n_{1т}}\right)^2} = D \sqrt[5]{\left(\frac{40}{10}\right)^2} = 1{,}74D,$$

т. е. для обеспечения тормозного момента $M_т = 100\%$, при числе оборотов $n_{1т} = 10\%$ необходимо диаметр рабочих колес турбопередачи, определенный по номограмме рис. 22, увеличить в 1,74 раза.

Таким образом, для ориентировочного выбора активного диаметра рабочих колес гидродинамических тормозов можно пользоваться номограммами, даваемыми для турбопередач, работающих в качестве гидромуфт, с введением поправочных коэффициентов, определяемых указанным выше методом.

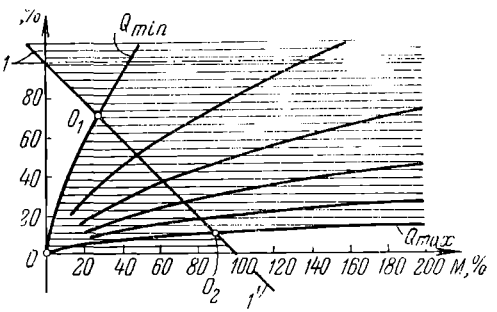


Рис. 23. Совмещенные механические характеристики асинхронного двигателя и гидродинамического тормоза

Совмещенные механические характеристики асинхронного двигателя и гидродинамического тормоза приведены на рис. 23. Прямая *1—1'* представляет механическую характеристику асинхронного двигателя, работающего с реостатом в цепи ротора. Пучок параболических кривых, пересекающих характеристику асинхронного двигателя, изображает механические характеристики гидродинамического тормоза при различном заполнении Q его рабочей полости. В точках пересечения характеристики асинхронного двигателя с тормозными характеристиками (O_1—O_2) результирующие моменты привода «асинхронный двигатель — гидродинамический тормоз» равны нулю, так как движущий и тормозной моменты

в этих точках взаимно уравновешиваются. Область, лежащая ниже этих точек, соответствует положительному, т. е. движущему результирующему моменту привода, а область, находящаяся выше этих точек, — отрицательному, т. е. тормозному результирующему моменту привода.

Результирующие механические характеристики асинхронного двигателя и гидродинамического тормоза даны на рис. 24. В точках пересечения характеристики с осью ординат (O_1—O_2) результирующие моменты привода равны нулю. Участки характеристик *I* четверти соответствуют

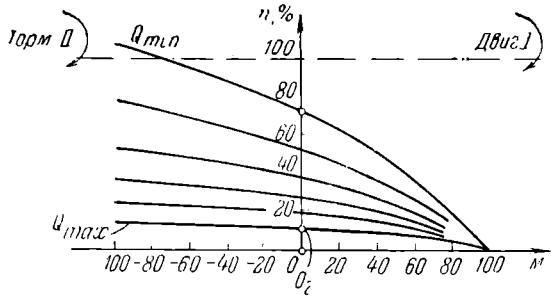


Рис. 24. Результирующие механические характеристики асинхронного двигателя и гидродинамического тормоза

двигательному режиму, участки *II* четверти относятся к тормозному режиму.

Аналогично характеристикам привода «асинхронный двигатель — тормозной генератор», изображенным на рис. 18, полученные характеристики также отвечают основным требованиям, предъявляемым к приводу автоматизированного подъема, т. е. они обеспечивают саморегулирование, непрерывность управления и бесступенчатый переход от двигательного режима к тормозному, а также обладают достаточной жесткостью при низких скоростях, что обеспечивает необходимую точность управления при подходе сосудов к разгрузочным кривым.

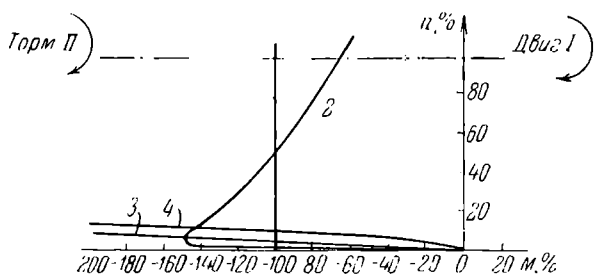


Рис. 25. Сравнение механических характеристик различных тормозных устройств:

1 — колодочного тормоза; *2* — асинхронного двигателя в режиме электродинамического торможения; *3* — электродинамического тормоза с независимым возбуждением; *4* — гидродинамического тормоза

Определение размеров гидродинамического тормоза должно производиться по величине тормозного момента, необходимого для уравновешивания вращающего момента двигателя при минимальной заданной скорости, соответствующей периоду разгрузки скипов, т. е. расчет должен производиться по моменту и скорости в точке O_2 (рис. 23).

Сравнение механических характеристик различных тормозных устройств (рис. 25) позволяет сделать следующие выводы. Колодочный

тормоз имеет абсолютно мягкую характеристику и не обладает способностью саморегулирования. Электро- и гидродинамические тормоза обладают способностью саморегулирования. Из них наиболее жесткой характеристикой обладает асинхронный двигатель в режиме электродинамического торможения, но перегрузочная способность его в этом режиме ниже, чем при двигательном. Работа выше точки опрокидывания неустойчива. Характеристики гидродинамического и электродинамического тормозов несколько менее жестки, но зато перегрузочная способность их выше.

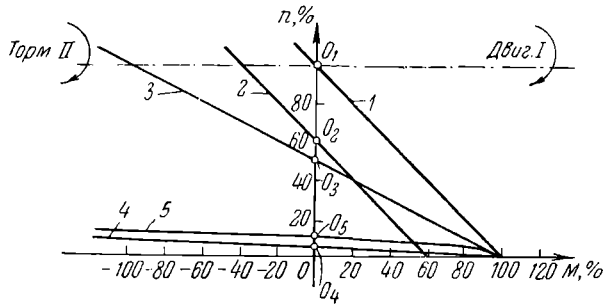


Рис. 26. Сравнение результирующих механических характеристик различных систем асинхронного привода при его работе:
1 — с реостатом в цепи ротора; *2* — с колодочным тормозом; *3* — при наложении в обмотке статора постоянного тока на переменный; *4* — с электродинамическим тормозом; *5* — с гидродинамическим тормозом

Сопоставление результирующих механических характеристик различных систем привода сделано на рис. 26. Точки O_1, O_2, O_3, O_4 и O_5 соответствуют режиму, при котором результирующий момент привода равен нулю. В *I* четверти располагаются участки характеристик, соответствующие двигательному режиму, во *II* четверти — участки, соответствующие тормозному режиму. Наилучшими характеристиками в отношении жесткости и, следовательно, точности управления при низких скоростях являются результирующие характеристики приводов «асинхронный двигатель — электродинамический тормоз» (характеристика *4*) и «асинхронный двигатель — гидродинамический тормоз» (характеристика *5*). Эти характеристики, обладая высокой степенью саморегулирования при низкой скорости, обеспечивают необходимую точность управления подъемной машиной в самый ответственный период, когда подъемные сосуды подходят к разгрузочным кривым и затем разгружаются.

На их основе может быть решена задача полной автоматизации грузовых подъемов с асинхронным приводом.

На рис. 27 представлены диаграммы автоматического управления скиповым подъемом при использовании тормозного генератора (электродинамического тормоза) с независимым возбуждением. Диаграммы построены для подъема нормального, легкого и тяжелого грузов. Период пуска автоматизирован по времени, в период полного хода скорость поддерживается двигателем автоматически, в период замедления принята автоматизация по пути.

При подъеме нормального груза диаграмма управления соответствует ломаной 0—1—A—B—C—2—3—4—5—6—7—8—9—10—11. Участок диаграммы *0—1—A—B—C—2—3—4* соответствует автоматическому пуску асинхронного двигателя при постепенном выключении (в функции времени) ступеней роторного реостата и работе двигателя на естественной характеристике в период полного хода. Тормозной гене-

ратор в это время выключен и вращается вхолостую. Участок *4—5* соответствует переходу привода с двигательного режима на тормозной. Для этого в цепь ротора подъемного двигателя, который остается включенным в сеть, вводится полное сопротивление реостата и одновременно дается возбуждение тормозному генератору, цепь якоря которого в то же время замыкается на полное сопротивление реостата. На участке *5—6—7—8* происходит замедление системы при автоматическом выключении (в функции пути) ступеней реостата в цепи якоря тормозного генератора. В течение этого времени подъемный асинхронный двигатель все время работает с полным сопротивлением в цепи ротора.

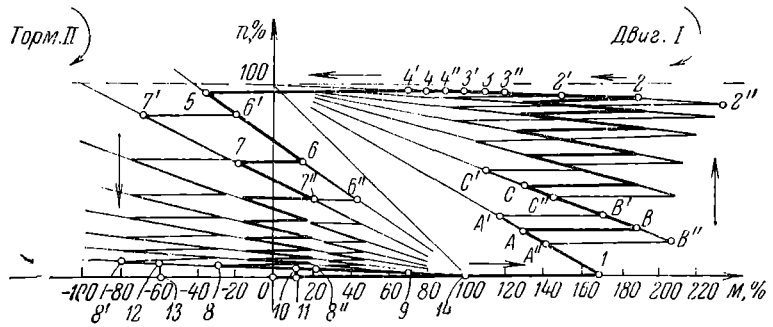


Рис. 27. Диаграммы автоматического управления скиповым подъемом при использовании тормозного генератора

Система должна быть отрегулирована так, чтобы при подъеме нормального груза среднее усилие в период большого замедления, т. е. на участке *5—6—7—8*, равнялось нулю. На участке *8—9—10*, соответствующем опорожнению скипа с донной разгрузкой, происходит автоматическое изменение момента привода в соответствии с изменением величины статических сопротивлений системы. Скорость при этом, ввиду жесткости последней характеристики, меняется весьма незначительно. По окончании разгрузки скипа машина автоматически застопоривается рабочим механическим тормозом. При этом подъемный асинхронный двигатель и тормозной генератор выключаются. Выключение их может быть произведено в начале действия механического тормоза (участок диаграммы *10—11*) или в конце (участок *10—14*). При опрокидных скипах работе привода в последний период, т. е. при разгрузке скипа, соответствует участок *8—9—12—13* — при выключении привода в начале действия механического тормоза или участок *8—9—12—14* — при выключении привода после застопоривания машины.

Подъему легкого груза соответствует диаграмма управления *0—1—A'—B'—C'—2'—3'—4'—5—6'—7'—8'—9—10—11* (*14*) при скипах с донной разгрузкой и диаграмма *0—1—A'—B'—C'—2'—3'—4'—5—6'—7'—8'—9—12—13* (*14*) — при опрокидных скипах. Подъему тяжелого груза соответствует диаграмма управления *0—1—A"—B"—C"—2"—3"—4"—5—6"—7"—8"—9—10—11* (*14*) — при скипах с донной разгрузкой и диаграмма *0—1—A"—B"—C"—2"—3"—4"—5—6"—7"—8"—9—12—13* (*14*) — при опрокидных скипах. Следует отметить, что при различном весе поднимаемых грузов положение точек *9, 10* и *12* (на последней характеристике) будет различно. В целях графического упрощения на рис. 27 эти точки при различных грузах условно показаны совпадающими.

Как видно из приведенных диаграмм, как в период пуска, так и в период большого замедления автоматически устанавливается тот или

ной режим в зависимости от веса поднимаемого груза. В период пуска, автоматизированного по времени, в зависимости от веса поднимаемого груза меняется величина пускового момента. В период же замедления, автоматизированного по пути, меняется величина и знак момента. Если система отрегулирована таким образом, что при подъеме нормального груза среднее усилие в период большого замедления равно нулю (свободный выбег), то при подъеме легкого груза автоматически установится отрицательное, тормозное усилие, а при подъеме тяжелого груза — положительное, движущее усилие (подгонка). Никаких регуляторов хода при этом иметь не нужно. Достаточно иметь управляющий двигатель (серводвигатель), который в пусковой период выведет за опреде-

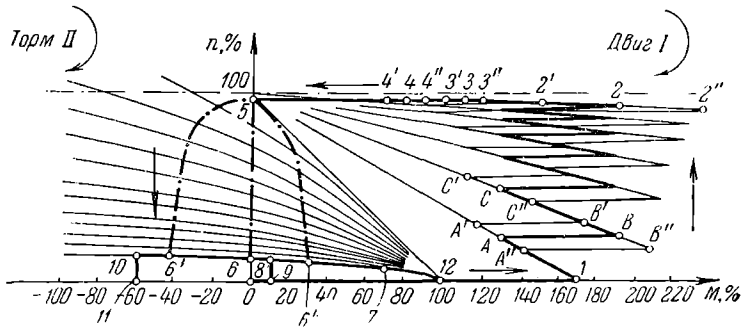


Рис. 28. Диаграммы автоматического управления скиповым подъемом при использовании гидродинамического тормоза

ленный промежуток времени роторный реостат подъемного асинхронного двигателя, и диск с приливами, соединенный с валом подъемной машины, который в период замедления в зависимости от положения сосудов в стволе будет выключать ступени реостата в цепи якоря тормозного генератора.

Естественно, что при различном весе поднимаемых грузов форма диаграммы скорости будет меняться. Привод автоматически будет приспосабливаться к статическим и динамическим сопротивлениям, обусловленным весом поднимаемого груза. Ставить при автоматизации подъема перед собой задачу строгого выполнения заданной диаграммы скорости с начала и до конца подъема, независимо от веса поднимаемого груза, и с этой целью непрерывно воздействовать на привод теми или иными регуляторами хода не следует, так как это приведет к нарушению естественных процессов, происходящих в приводе, и усложнит его работу. При автоматизации привода нужно по возможности использовать его естественные свойства, не оказывая на него без особой необходимости внешнего воздействия. Важно не то, чтобы за счет большого усложнения системы управления строго выполнить теоретическую диаграмму скорости при любом весе поднимаемого груза, а то, чтобы при максимальном использовании естественных процессов, происходящих в приводе, получить наиболее простую и, следовательно, надежную автоматическую подъемную установку. Многолетние неудачные попытки автоматизации подъема с асинхронным приводом имели место именно потому, что усилия были направлены не по пути использования естественных процессов, происходящих в приводе, а по пути строгого выполнения заданной теоретической диаграммы скорости.

На рис. 28 представлены диаграммы автоматического управления скиповым подъемом при использовании гидродинамического тормоза.

Так же, как и на рис. 27, диаграммы построены для подъема нормального, легкого и тяжелого грузов. Период пуска автоматизирован по времени, период замедления — по пути, в периоде полного хода скорость поддерживается автоматически без внешнего воздействия на подъемный двигатель.

В периоды пуска и полного хода привод с гидродинамическим тормозом работает так же, как и при использовании электродинамического тормоза в виде тормозного генератора. В эти периоды гидродинамический тормоз опорожнен и насосное колесо его вращается вхолостую. На участке диаграммы *4—5* привод переходит с двигательного режима на

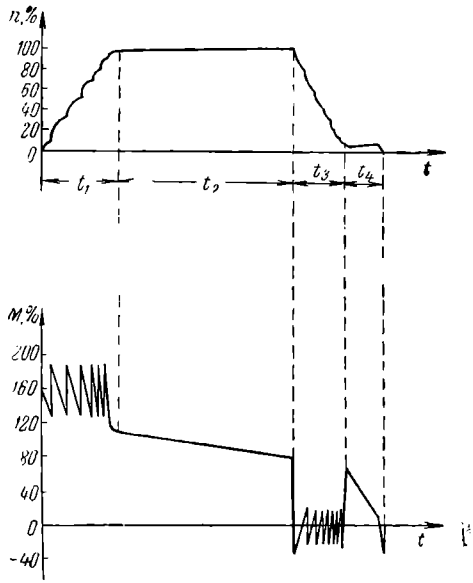


Рис. 29. Реальные диаграммы автоматизированного подъема с тормозным генератором при скипах с донной разгрузкой

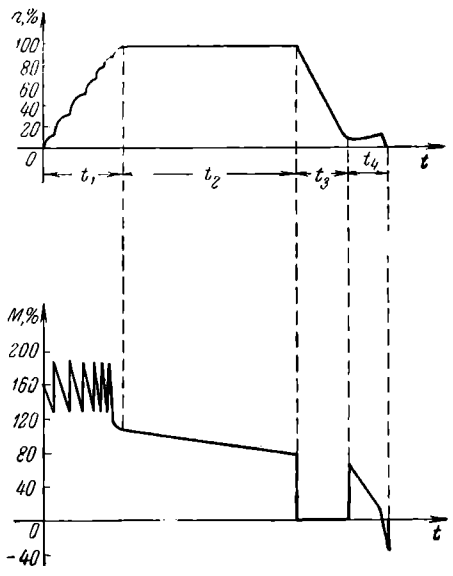


Рис. 30. Реальные диаграммы автоматизированного подъема с гидродинамическим тормозом при скипах с донной разгрузкой

режим, соответствующий периоду замедления. Для этого в цепь ротора подъемного двигателя вводится полное сопротивление реостата и одновременно открывается кран, через который начинается заполнение рабочей полости гидротормоза. При подъеме нормального груза замедление осуществляется при режиме свободного выбега и среднем усилии, равном нулю (участок *5—6*). При легком грузе автоматически устанавливается тормозной режим (участок *5—6′*), а при тяжелом грузе — режим подгонки (участок *5—6″*).

При скипах, опорожняющихся через дно, периоду разгрузки при нормальном грузе соответствует участок диаграммы *6—7—8—9* (*12*), при легком грузе — участок *6′—7—8—9* (*12*), а при тяжелом — *6″—7—8—9* (*12*). При опрокидных скипах периоду разгрузки при нормальном грузе соответствует участок диаграммы *6—7—10—11* (*12*), при легком грузе — *6′—7—10—11* (*12*), а при тяжелом — *6″—7—10—11* (*12*). В отличие от диаграммы рис. 27, управление в период большого замедления получается бесступенчатым, что обусловлено постепенным заполнением рабочей полости гидродинамического тормоза. Величина скорости в период разгрузки скипов при гидродинамическом тормозе получается несколько бо́льшая, чем при электродинамическом. После

застопоривания подъемной машины механическим тормозом [участки *8—9* (*12*) и *10—11* (*12*)] питательный насос выключается и гидротормоз опорожняется через предусмотренные для этой цели разгрузочные отверстия.

Реальные диаграммы автоматизированного подъема с тормозным генератором и гидродинамическим тормозом при подъеме нормального груза в скипах с донной разгрузкой представлены на рис. 29 и 30. Диа-

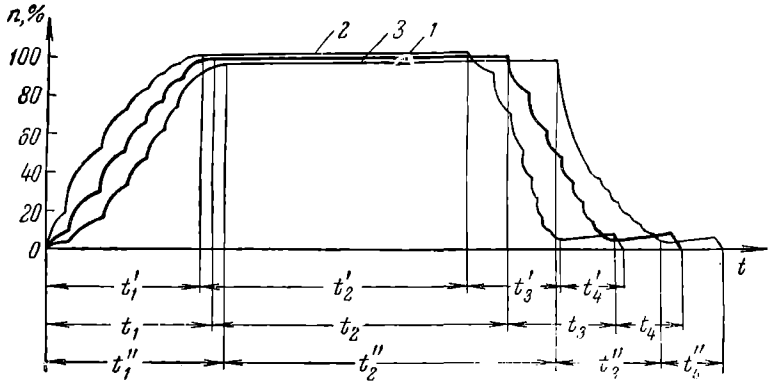


Рис. 31. Сравнение реальных диаграмм скорости автоматизированного подъема с тормозным генератором при различном весе поднимаемого груза

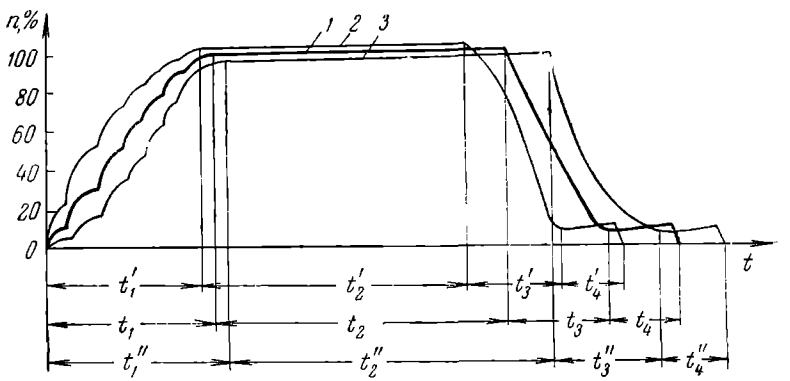


Рис. 31. Сравнение реальных диаграмм скорости автоматизированного подъема с гидродинамическим тормозом при различном весе поднимаемого груза

граммы построены применительно к диаграммам управления (рис. 27 и 28).

Сравнение реальных диаграмм скорости автоматизированного подъема с тормозным генератором и гидродинамическим тормозом при подъеме в скипах с донной разгрузкой нормального, легкого и тяжелого грузов приведено на рис. 31 и 32. Цифрами *1*, *2* и *3* соответственно обозначены кривые скорости при нормальном, легком и тяжелом грузах. Буквами t_1, t_2, t_3 и t_4 соответственно обозначены периоды пуска, полного хода, большого замедления и периода разгрузки скипов. Общая продолжительность цикла подъема наибольшая при тяжелом грузе и наименьшая при легком. Величины ускорения и замедления при различных грузах неодинаковы, но находятся в пределах, допускаемых для грузовых подъемов. Скорости в период полного хода при различной величине

поднимаемого груза несколько отличаются друг от друга, что обусловлено естественными свойствами асинхронного подъемного двигателя.

В целом приведенные диаграммы скорости практически являются вполне приемлемыми, так как обеспечивают главное условие — одинаковый путь, проходимый в стволе подъемными сосудами, независимо от величины поднимаемого груза.

Электрические схемы автоматических подъемных установок с асинхронным приводом

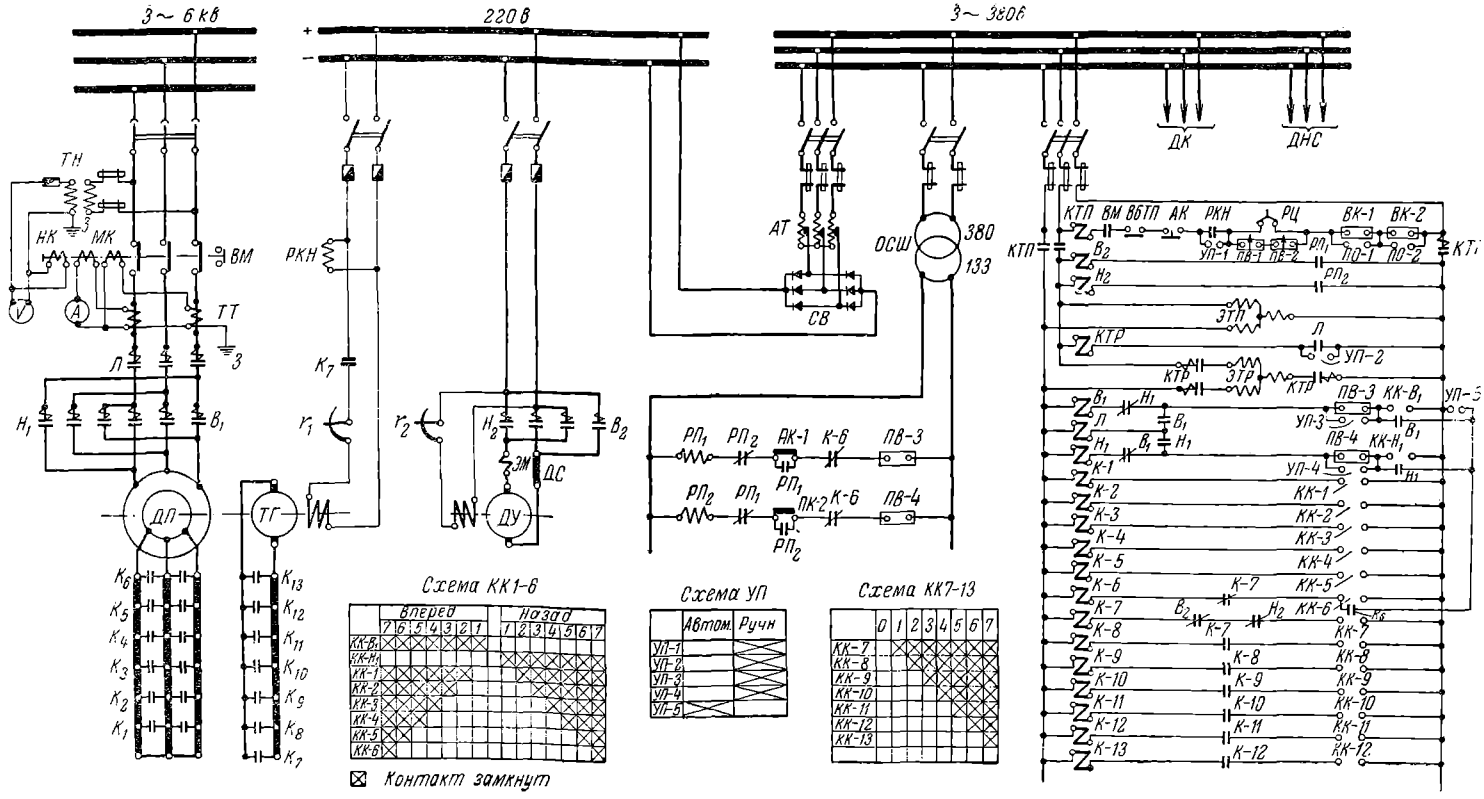
Электрическая схема автоматической установки с тормозным генератором приведена на рис. 33.

Подъемный асинхронный двигатель *ДП* соединен с тормозным генератором *ТГ*, представляющим собой электродинамический тормоз. Возбуждение тормозного генератора независимое. Управление подъемным двигателем осуществляется посредством статорного переключателя и роторного реостата; управление тормозным генератором производится контактором в цепи его возбуждения и реостатом в цепи якоря. Кроме того, для наладки системы предусмотрен реостат r_1. Управление командоконтроллером *КК1-6* производится двигателем управления *ДУ*, соединяемым с командоконтроллером через электромагнитную муфту (или электромагнитный замок) *ЭМ*. Двигатель *ДУ* реверсивный. Для регулирования скорости его вращения предусмотрен реостат r_2. Путем изменения величины сопротивления этого реостата может быть установлена оптимальная продолжительность периода пуска подъемной машины. Управление командоконтроллером *КК7-13* осуществляется посредством кулачкового диска, соединенного с валом подъемной машины. Для перевода работы схемы с автоматического управления на ручное предусмотрен универсальный переключатель *УП*. Контроллеры *КК1-6* и *КК7-13* с самовозвратом, т. е. по окончании воздействия на них двигателя управления или кулачкового диска они автоматически под действием пружины или грузового привода возвращаются в нулевое положение.

Для автоматического действия схемы переключатель *УП* ставится в левое положение. При этом его контакты *УП1-4* размыкаются, а контакт *УП-5* замыкается. Импульсом для начала действия схемы является замыкание контактов *ПК-1* или *ПК-2*, связанных с загрузкой скипов.

По окончании загрузки правого скипа замыкается контакт *ПК-1*, и возбуждается промежуточное реле $РП_1$, которое включает контактор B_2 двигателя управления *ДУ* Одновременно возбуждается электромагнитная муфта (или электромагнитный замок) *ЭМ*. Двигатель *ДУ* соединяется с командоконтроллером *КК1-6* и, поворачивая его с определенной выдержкой времени, вызывает возбуждение контакторов B_1, *К-1, К-2, К-3, К-4, К-5* и *К-6*. Контактор B_1 включает подъемный двигатель, а контакторы *К-1 — К-6* постепенно шунтируют его роторный реостат. Одновременно с включением контактора B_1 замыкается линейный контактор *Л* и включается электромагнит рабочего тормоза *ЭТР*, что приводит к оттормаживанию подъемной машины. При включении двигателя управления *ДУ* блокконтакт B_2 в цепи *К-7* размыкается, тормозной генератор выключается, а блокконтакт *К-7* в цепи *К-6* замыкается.

По окончании периода пуска нормально закрытый блокконтакт *К-6* размыкается, $РП_1$ лишается возбуждения, и двигатель управления *ДУ* выключается. Одновременно происходит расцепление электромагнитной муфты (или замка) *ЭМ*, и командоконтроллер *КК1-6* под действием пружины или грузового привода возвращается в нулевое положение.


3~ 6 кв
220 в
3~ 380 в
ТН
НК
МК
ВМ
V
A
ТТ
З
Л
H_1
B_1
ДП
ТГ
K_6
K_5
K_4
K_3
K_2
K_1
K_{13}
K_{12}
K_{11}
K_{10}
K_9
K_8
K_7
РКН
K_7
r_1
r_2
H_2
B_2
ЭМ
ДС
ДУ
АТ
СВ
ОСШ
380
133
ДК
ДНС
$РП_1$ $РП_2$ РК-1 К-6 ПВ-3
$РП_2$ $РП_1$ $РП_1$ ПК-2 К-6 ПВ-4
$РП_2$
КТП ВМ ВБТП АК РКН РЦ ВК-1 ВК-2
УП-1 ПВ-1 ПВ-2 ПО-1 ПО-2
ЭТП
КТР
УП-2
ПВ-3 КК-B_1
ПВ-4 КК-H_1
УП-3
УП-4
КК-1
КК-2
КК-3
КК-4
КК-5
КК-6
КК-7
КК-8
КК-9
КК-10
КК-11
КК-12
КК-13
Схема КК1-6
Вперед
Назад
КК-B_1
КК-H_1
Схема УП
Автом.
Ручн
УП-1
УП-2
УП-3
УП-4
УП-5
Схема КК7-13
Контакт замкнут

Однако контакторы *Л*, B_1 и *К-6* остаются возбужденными через свои блокконтакты. При выключении *ДУ* блокконтакт B_2 в цепи *К-7* замыкается, но включения тормозного генератора не происходит, так как контакты командоконтроллера *КК-7* к этому моменту размыкаются, ибо кулачковый диск к концу периода пуска перестает воздействовать на командоконтроллер *КК7-13* и последний возвращается в нулевое положение.

Период полного хода осуществляется на естественной характеристике подъемного двигателя при выключенном тормозном генераторе.

На определенном расстоянии скипа от разгрузочных кривых кулачковый диск начинает воздействовать на командоконтроллер *КК7-13*, постепенно замыкая его контакты. Контакторы *К7-13* постепенно включаются; тормозному генератору дается возбуждение и затем постепенно шунтируется реостат в цепи его якоря. Одновременно с включением тормозного генератора блокконтакт *К-7* в цепи *К-6* размыкается, что приводит к выключению контактора *К-6* и включению в цепь ротора подъемного двигателя полного сопротивления реостата. Период замедления осуществляется при совместном включении подъемного асинхронного двигателя, работающего на мягкой характеристике под реостатом, с тормозным генератором, якорный реостат которого постепенно выключается (шунтируется).

По окончании периода разгрузки скипа размыкается путевой выключатель *ПВ-3*. Это вызывает выключение подъемного двигателя контакторами B_1 и *Л* и одновременное выключение тормозного электромагнита *ЭТР*, приводящего в действие механический тормоз. Машина застопоривается. Тормозной генератор остается включенным до начала следующего цикла подъема.

В цепь контактора *КТП* предохранительного тормоза включены: блокконтакт масляного выключателя *ВМ*, контакт *ВБТП*, связанный с рукояткой предохранительного тормоза, аварийная кнопка *АК*, реле контроля напряжения *РКН* цепи возбуждения тормозного генератора, центробежное реле *РЦ*, контролирующее скорость при подходе скипа к разгрузочным кривым, конечные выключатели *ВК-1* и *ВК-2*. Выключение цепи *КТП* в любой из этих точек вызывает выключение подъемного двигателя и тормозного электромагнита *ЭТП*, приводящего в действие предохранительный тормоз. Для исключения возможности действия схемы при неправильном воздействии на контакты *ПК-1* и *ПК-2* (например, при воздействии на контакт *ПК-1* в то время, когда правый скип находится в разгрузочных кривых) в цепи реле $РП_1$ и $РП_2$ введены контакты путевых выключателей *ПВ-3* и *ПВ-4*. При нахождении скипа в разгрузочных кривых соответственный путевой выключатель будет разомкнут и не позволит при неправильных действиях включить машину. Возможность одновременного включения реле $РП_1$ и $РП_2$ исключается введением в их цепи нормально закрытых контактов этих реле.

При ручном управлении контакты универсального переключателя *УП1-4* замыкаются, а контакт *УП-5* размыкается, и рубильник двигателя управления *ДУ* выключается. При этом машинист может управлять подъемной машиной посредством рычага, связанного с командоконтроллером *КК1-6* и ножной педали, соединенной с командоконтроллером *КК7-13*, а также посредством рукоятки, воздействующей на привод механического тормоза.

Электрическая схема автоматической подъемной установки с гидродинамическим тормозом представлена на рис. 34. В этой схеме подъемный асинхронный двигатель *ДП* соединен с гидродинамическим тормозом *ГТ*, управляемым посредством регулировочного крана *КР*, на

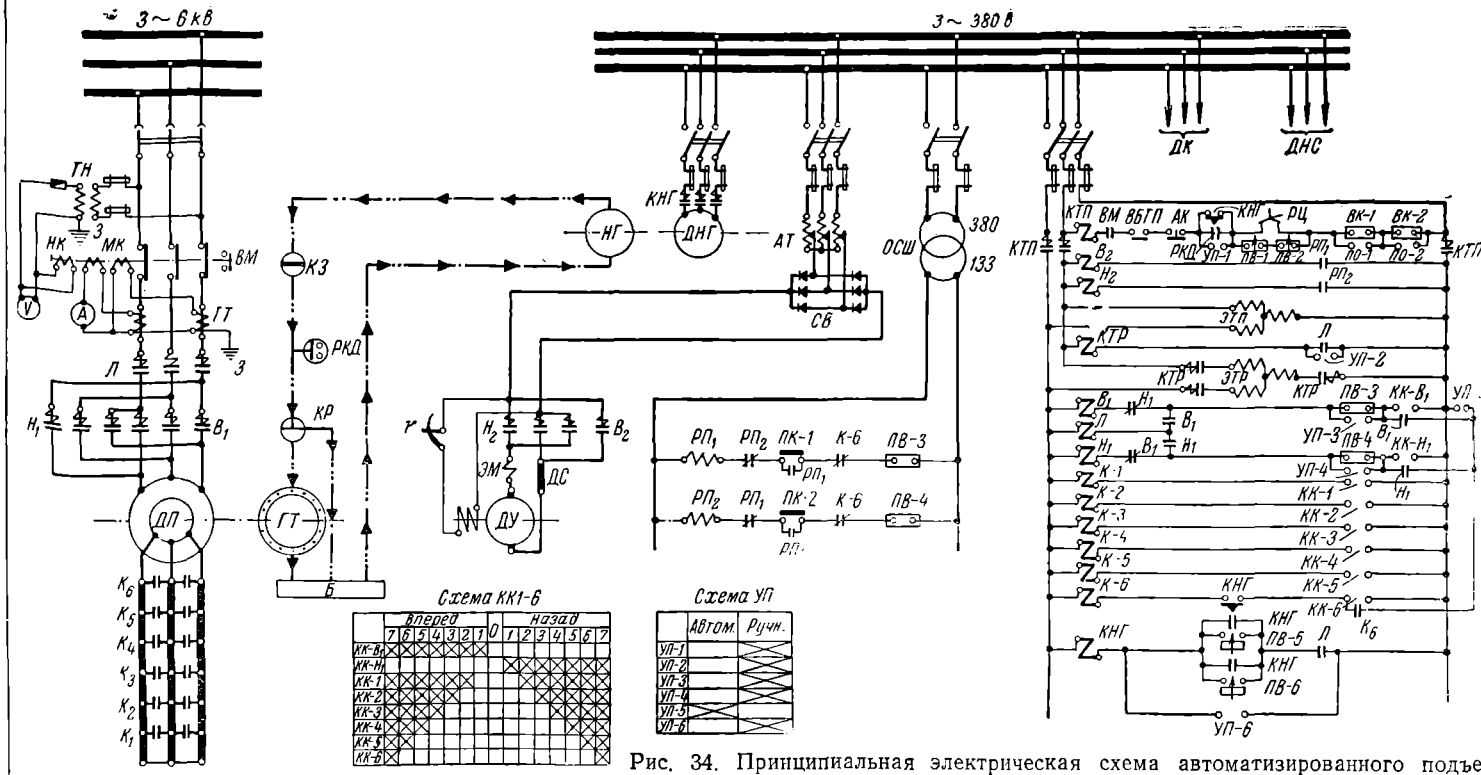


Рис. 34. Принципиальная электрическая схема автоматизированного подъема с гидродинамическим тормозом:

ДП — подъемный двигатель; *ГТ* — гидродинамический тормоз; *ДУ* — двигатель управления; *ДК* — двигатель компрессора; *ДНС* — двигатель насоса смазки; *ДНГ* — двигатель насоса гидротормоза; *НГ* — насос гидротормоза; *КЗ* — запорный кран; *КР* — регулировочный кран; *Б* — бак-отстойник; *АТ* — автотрансформатор; *ОСШ* — однофазный понизительный трансформатор (сухой шахтный); *ВМ* — масляный выключатель; *Л* — линейный контактор; *В* — контактор хода „вперед"; *Н* — контактор хода „назад"; *К* — контактор в цепи ротора; *РКД* — реле контроля давления; *r* — реостат в цепи возбуждения; *ЭМ* — электромагнитная муфта; *ДС* — добавочное сопротивление; *СВ* — селеновый выпрямитель; *ЭТП* — электромагнит предохранительного тормоза; *ЭТР* — электромагнит рабочего тормоза; *КТП* — контактор предохранительного тормоза; *КТР* — контактор рабочего тормоза; *КНГ* — контактор насоса гидротормоза; *ВБТР* — блокировочный выключатель предохранительного тормоза; *АК* — аварийная кнопка; *РЦ* — центробежное реле; *ВК* — конечный выключатель; *ПВ* — путевой выключатель; *ПО* — обходный переключатель; *УП* — универсальный переключатель; *КК* — контакты контроллера; *РП* — промежуточное реле; *ПК* — пусковая кнопка; *ТТ* — трансформатор тока; *ТН* — трансформатор напряжения; *МК* — максимальная катушка; *НК* — нулевая катушка; *З* — земля; *А* — амперметр; *V* — вольтметр

который воздействует кулачковый диск, соединенный с валом подъемной машины. Для перехода с автоматического управления на ручное предусмотрен универсальный переключатель *УП*. Командоконтроллер *ККГ-6* и регулировочный кран *КР* с самовозвратом, т. е. по окончании воздействия на них они автоматически под действием пружины или грузового привода возвращаются в нулевое положение.

Для автоматического действия схемы переключатель *УП* ставится в левое положение. При этом его контакты *УП-1, 2, 3, 4, 6* размыкаются, а контакт *УП-5* замыкается.

Пуск и полный ход машины осуществляются так же, как и в схеме тормозным генератором.

В начале замедления, на определенном расстоянии скипа от разгрузочных кривых, замыкается один из путевых выключателей *ПВ-5* или *ПВ-6*, что вызывает включение питательного насоса *НГ* гидродинамического тормоза. В это же время на регулировочный кран *КР* начинает воздействовать кулачковый диск, открывая его и производя постепенное заполнение рабочей полости гидродинамического тормоза. После включения питательного насоса блокконтакт *КНГ* в цепи *К-6* с некоторой выдержкой времени [1] размыкается, что приводит к выключению контакторов *К-6* и включению в цепь ротора подъемного двигателя полного сопротивления реостата.

Период замедления осуществляется при совместном включении подъемного асинхронного двигателя, работающего на мягкой характеристике под реостатом, с гидродинамическим тормозом, рабочая полость которого постепенно заполняется.

По окончании периода разгрузки скипа размыкается путевой выключатель *ПВ-3* или *ПВ-4*. Это вызывает выключение подъемного двигателя и одновременное приведение в действие механического тормоза, а также выключение питательного насоса гидродинамического тормоза посредством блокконтакта *Л* в цепи *КНГ* Машина застопоривается, а гидродинамический тормоз самоопорожняется, рабочая жидкость стекает через разгрузочное отверстие в бак-отстойник *Б*.

Аппараты, включенные в цепь *КТП* предохранительного тормоза, в основном те же, что и в предыдущей схеме, но вместо контактов реле контроля напряжения включены контакты реле давления, контролирующие работу питательной системы. Параллельно этим контактам включены нормально закрытые контакты *КНГ*, действующие с выдержкой времени, необходимой для создания в питательной системе определенного давления, после того как двигатель питательного насоса включится сеть.

Предусмотренные в схемах (рис. 33 и 34) путевые выключатели *ПВ1-6* — с самовозвратом.

Из числа указанных путевых выключателей выключатели *ПВ-1, 2, 5* и *6* — одностороннего действия, т. е. они срабатывают только при подъеме скипов.

Выводы

Асинхронный привод, имеющий при низких скоростях неблагоприятные механические характеристики, трудно поддается автоматизации в наиболее ответственный период подъема — в период замедления.

Многолетние попытки решить задачу автоматизации подъема в этот период путем воздействия регуляторов хода на приводы механических

[1] Эта выдержка времени необходима, так как с момента включения в работу питательного насоса до момента начала действия гидротормоза проходит 1—2 сек.

тормозов не дали положительных результатов ввиду того, что колодочный механический тормоз является органом, по своим механическим свойствам мало пригодным для автоматического регулирования.

Большинство других предложений по автоматизации подъема с асинхронным приводом, как, например, система с воздействием регулятора хода на электрическую аппаратуру управления приводным асинхронным двигателем, использование подъемного асинхронного двигателя в режиме электродинамического торможения, применение в период замедления двигательного режима и другие, — не дают общих решений задачи автоматизации подъема и могут быть применены только в частных случаях, причем все эти системы не обеспечивают непрерывности управления в самый ответственный период — в период подхода сосудов к разгрузочным кривым и их разгрузки.

Лучшие результаты в этом отношении дают схемы, допускающие наложение постоянного тока на переменный в обмотке двигателя. При этом могут быть получены приемлемые характеристики, обеспечивающие непрерывность управления при разгрузке подъемных сосудов.

Общие решения автоматизации подъема с асинхронным приводом, и при этом наиболее простые и надежные, дают схемы со специальными электродинамическими и гидродинамическими тормозами. Механические характеристики комбинированных приводов, при совместной работе асинхронного двигателя с электро- и гидродинамическими тормозами, обеспечивают в течение всего периода замедления непрерывность и достаточную точность управления при любых диаграммах движущих усилий подъема.

Наибольшего внимания в смысле практической реализации заслуживает схема с электродинамическим тормозом в виде тормозного генератора (рис. 33), которая может быть собрана из стандартных электрических элементов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Уманский В. Б. Тулин В. С. Теоретические основы шахтной подъемной машины. ОНТИ, 1933.
2. Максимов А. Е. Вопросы устойчивой работы подъемного асинхронного двигателя при низких скоростях. Горный журнал, 1933, № 9.
3. Уманский В. Б. Электрические подъемные установки. ОНТИ, 1935.
4. Максимов А. Е. Пути автоматизации шахтных подъемных установок с приводом от асинхронного двигателя. Сборник статей по автоматизации шахтных подъемных установок. Изд. АН СССР, 1939.
5. Герман А. П. и Шклярский Ф. Н. Рудничные подъемные установки. Углетехиздат, 1947
6. Давыдов Б. Л. Автоматическое регулирование шахтных подъемных машин как приложение гармонического подъема акад. М. М. Федорова. «Уголь», 1948, № 1.
7. Уманский В. Б. Шахтные подъемные установки. Углетехиздат, 1949.
8. Максимов А. Е. Гидроэлектропривод рудничных подъемных машин. Углетехиздат, 1951.
9. Иванов А. А. Динамическое торможение подъемных асинхронных двигателей. Углетехиздат, 1951.
10. Шклярский Ф. Н. Физико-механические основы электрического рудничного подъема. Углетехиздат, 1952.
11. Живов Л. Г Привод и автоматика шахтных подъемных машин. Машгиз, 1952.
12. Живов Л. Г Регулятор замедления шахтной подъемной машины. «Электричество», 1952, № 7.
13. Василевский М. Н. Асинхронный привод шахтных подъемных машин. Углетехиздат, 1953.

Поступило 21/II 1954 г.