

## ОСОБЕННОСТИ ТРОГАНИЯ КРАНОВОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОДЪЕМА ЗАТВОРА СЛИВНОЙ ПЛОТИНЫ

Традиционно принято считать, что механизмы с тяжелыми условиями трогания и пуска наиболее часто встречаются в горнорудном и химическом производстве. Однако, задача снижения аварийности электротехнического и технологического оборудования путем совершенствования средств и способов пуска электроприводов является актуальной для широкого круга общепромышленных механизмов, в том числе, для вспомогательных технологических механизмов гидроэлектростанций (ГЭС).

Анализ пусковых режимов ряда технологических механизмов горнорудной промышленности (шаровых и стержневых мельниц, пульпонасосов, шахтных подъемных установок, экскаваторов), выполненный в работах [1,2], указывает на целесообразность разработки и создания систем управляемого трогания. Создание таких систем в условиях гидроэлектростанций требует детального изучения физико-механических свойств и характеристик всех конструктивных элементов, определяющих характер момента сопротивления при трогании.

Целью исследования является анализ составляющих сил и моментов сопротивления при подъеме затвора сливной плотины и обоснование необходимости создания системы управляемого трогания на базе двухдвигательного электропривода механизма подъема козлового крана.

Кременчугская ГЭС расположена на р.Днепр и входит в состав Днепровского каскада, состоящего из шести ГЭС. Максимальный напор КремГЭС 17 м, вырабатываемая энергия 625 МВтч, полный объем водохранилища 13,5 млрд.м<sup>3</sup>, полезный объем 9 млрд.м<sup>3</sup>. В состав ГЭС входит здание гидроэлектростанции с двенадцатью гидрогенераторами производительностью 52,8 МВтч, сливная плотина, земляная дамба, открытые распределительные устройства на 154 кВ и 330 кВ.

К вспомогательным технологическим механизмам гидроэлектростанции относятся козловые краны, обеспечивающие подъем и перемещение:

- роторов гидрогенераторов;
- фильтрующих решеток, предназначенных для фильтрации воды поступающей с верхнего бьефа через направляющий аппарат в рабочую камеру на лопасти турбины;
- затворов, расположенных в двенадцати карманах сливной плотины, предусмотренных правилами эксплуатации ГЭС, например, для аварийного сброса воды.

Затвор (рис.1) представляет собой металлоконструкцию весом 164т при общем габарите 16х16,5х1,2 м, состоящую из трех неравномерных секций. В соответствии с технологической картой обслуживания плотины, подъем и установка затвора при плановом ремонте выполняется один раз в год, каждый затвор подлежит плановому ремонту раз в 12 лет. На время ремонта функцию основного затвора временно выполняет аварийный затвор, который устанавливается со стороны верхнего бьефа на расстоянии около 2 метров от основного затвора.

Подъему основного затвора предшествует сброс остаточного объема воды ( $2 \cdot 16,5 \cdot 16 = 528 \text{ м}^3$ ) между аварийным и рабочим затворами путем приподнимания последнего на 30 - 40 см.

Между основаниями затвора и кармана крепится ножевидная тепло-морозо-кислото-щелочестойкая резина ТМКЩ (ГОСТ 7338-77) толщиной 18 мм и шириной 130 мм. Для обеспечения оптимальных условий эксплуатации резина устанавливается с напуском в 20 мм за край основания затвора со стороны Кременчугского водохранилища.

Электродвигатели механизма подъема (2х50 кВт, 380 В, 585 об/мин) приводят в движение две подъемные лебедки. Электропривод предусматривает два основных режима работы:

- синхронное вращение машин М1

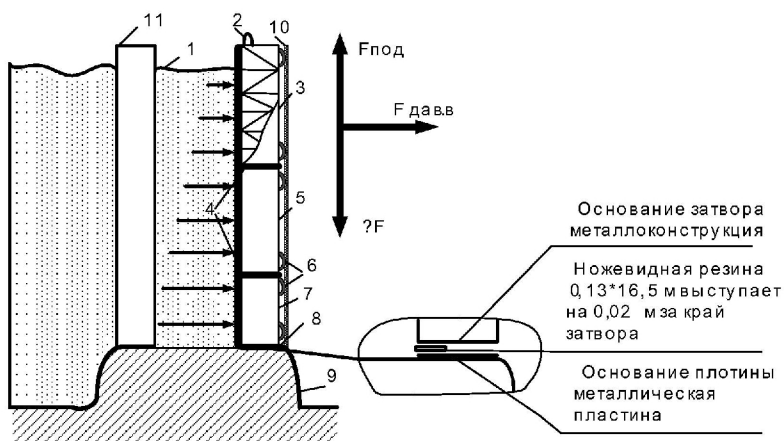


Рис. 1 Вид секции сливной плотины в разрезе:

- 1 – вода; 2 – петли для строповки; 3 – первая секция затвора;
- 4 – уплотнительная резина; 5 – вторая секция затвора; 6 – колеса для движения затвора по направляющим; 7 – третья секция; 8 – ножевидная резина; 9 – основание сливной плотины; 10 – направляющие рабочих карманов; 11 – аварийный затвор

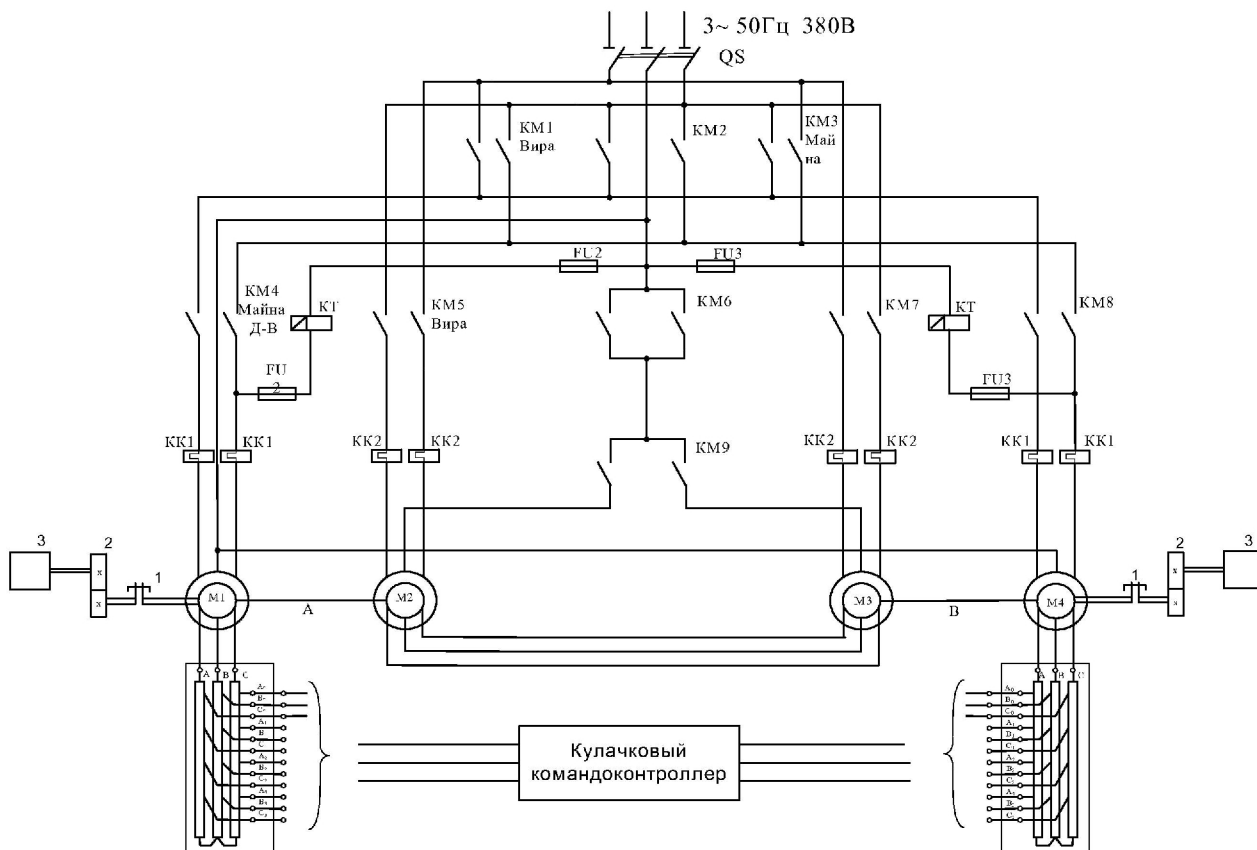


Рис. 2 Электропривод механизма подъема

и М4, соединенных электрическим валом, образованным машинами М2 и М3;

– независимое вращение валов А и В (рис.2) при размыкании электрического вала [3,4].

Каждый из электродвигателей подъема М1, М4 агрегатирован с соответствующей машиной М2, М3 электрического вала. Для синхронного вращения валов машин М1 и М4 необходимо установить переключатель режимов работы в положение "А+В". Командоконтроллер обеспечивает подключение к сети обмоток статора электрических машин в следующей последовательности.

Электромагниты освобождают тормозные шкивы одновременно с включением машин электрического вала. Для "выравнивания" валов с помощью контакторов КМ5 и КМ7 подключают две из трех клемм статора машин. При срабатывании реле времени КТ контактор КМ9 замыкает неподключенные клеммы статоров машин электрического вала между собой, затем, с выдержкой времени происходит подключение указанных клемм к сети с помощью контактора КМ6. Такая последовательность включения машин М2 и М3 обеспечивает постепенное повышение уравнивающего момента и предотвращает чрезмерную пульсацию в процессе выравнивания. Далее осуществляется стандартный реостатный пуск с синхронизированным вращением валов электрических машин.

При независимой работе машин М1 и М4 переключатель режимов работы переводится в положение "А" (или "В") для выбора соответствующей лебедки. При этом срабатывают контакторы КМ4 или КМ8, машина М1 (М4) подключается к сети. Выбор режимов подъема и спуска осуществляется с помощью контакторов КМ1 (Вира) и КМ2 (Майна).

Специфические условия эксплуатации рассмотренной выше системы электропривода являются причиной высокой аварийности оборудования.

Таблица 1 Аварийность оборудования крана

| № п/п | Наименование оборудования                       | Характер неисправности                       | Причина неисправности                                 | Количество отказов с 1988 по 2008 год, % |
|-------|---|--|---|--|
| 1.    | Обмотки асинхронного двигателя с фазным ротором | Нарушение целостности изоляции               | Перегрев обмоток при повышенном моменте сопротивления | 19                                       |
| 2.    | Соединительный вал                              | Деформация (провисание) вала                 | Усталость металла                                     | 8  |
| 3.    | Пусковые реостаты                               | Окисление, термическое разрушение            | Влажность, повышенные пусковые токи                   | 25                                       |
| 4.    | Соединительные муфты, зубчатые передачи         | Разрушение соединительных элементов и зубьев | Механические удары при прямом пуске                   | 13                                       |
| 5.    | Подъемная лебедка                               | Обрыв тросов                                 | Вибронагрузки, корродирование                         | 30                                       |

В таблице 1 приведены сведения о выходе из строя электротехнического и технологического оборудования при подъемах затворов сливной плотины, зафиксированные в вахтенных журналах. Информация представлена в процентном отношении к общему количеству отказов за последние двадцать лет.

По мнению авторов, основной причиной частого выхода из строя оборудования являются значительные силы и моменты сопротивлений, возникающие в момент «подрыва» (трогания) электромеханической системы.

Рассмотрим технологические особенности эксплуатации затвора сливной плотины, обуславливающие повышение сил и моментов сопротивления при его подъеме с рабочего места.

**Свойства уплотнительной резины.** Резина ТМКЩ – синтетический бутадиен-нитрилакриловый каучук (БНК) ( $C_3H_3N$ ) (рис.3,б), полученный путем совместной полимеризации бутадиена с нитрилакриловой кислотой, яв-

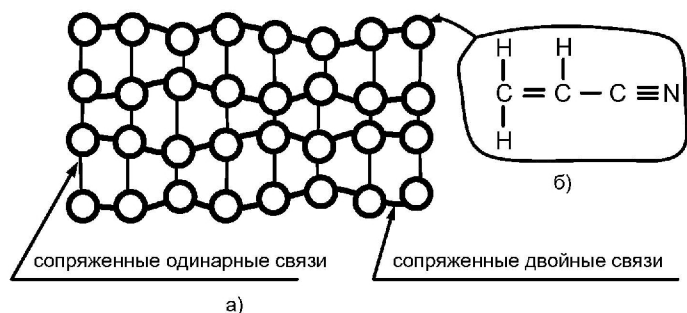


Рис. 3 Молекулярная структура резины (а), строение молеку-

ляется высокомолекулярным веществом (молекулярная масса выше 5000 г/моль), соединение молекул которого представляет собой большое число повторяющихся звеньев (рис.3,а). Молекулярная структура резины представляет собой макромолекулы, связанные между собой по горизонтали сопряженными двойными связями, по вертикали – сопряженными одинарными связями. Сопряженные двойные связи обеспечивают основные свойства резины: прочность, упругость, водостойкость [5].

Значительное сжатие резины (до 250кПа) при установке затвора весом 164 т и длительная эксплуатация установленного затвора (12-15 лет) приводят к нарушению сопряженных связей. Таким образом, свойства резины претерпевают значительные изменения, обусловленные набуханием, диффузией и старением.

Та часть резины, которая выступает за край затвора и контактирует с водой в течение всего срока эксплуатации, набухает, т.е. поглощает молекулы воды, которые заполняют межмолекулярное пространство резины (рис.4). Исследования бутадиен-нитрильных каучуков, проведенные ВНИИ буровой техники, указывают на однозначное влияние давления и температуры на набухание резины. Максимальная степень набухания резины в воде достигает 14,5 % [6].

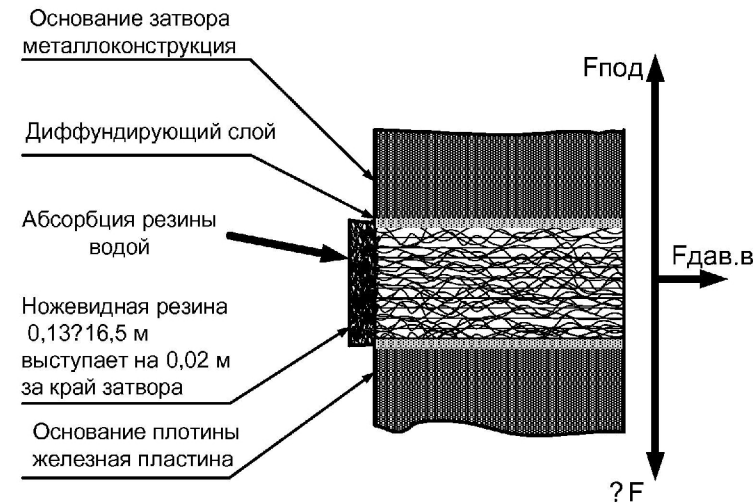


Рис. 4 Вид резины в разрезе в рабочем состоянии при истечении времени работы ( 12-15 лет) и силы возникающие в начальной фазе трогания

**Диффузия.** При длительном сроке эксплуатации установленного затвора сливной плотины имеют место процессы диффузии: а) резины с металлического основания затвора; б) металлического основания затвора с металлическим основанием кармана сливной плотины. При определении степени диффузии следует учитывать массу конструкции, площадь соприкосновения, градиент плотности, градиент давления, относительные изменения температуры и давления [7].

**Трение в подшипниках и направляющих.** В процессе эксплуатации сливной плотины засоряются и корродируют направляющие затвора, возрастают силы трения качения между колесами и направляющими, а также силы трения скольжения в подшипниках (рис.1); кроме того, со временем металлоконструкция обрастает ракушняком, а резиновые уплотнения теряют свои упругие свойства и склеиваются с основанием

сливной плотины [8].

В первоначальный момент времени при подъеме затвора с рабочего места, резина, абсорбируемая водой, создает своеобразную пробку. С другой стороны диффузия основания затвора с основанием кармана сливной плотины препятствует попаданию воздуха, создавая таким образом вакуум в слоях резины. Такой эффект усиливает момент сопротивления при подъеме затвора с рабочего места [9,10].

Все перечисленные выше факторы приводят к росту момента сопротивления до  $(1,3 \div 1,5)Mн$ .

Таким образом, при подъеме затвора происходит достаточно сложный процесс формирования сил сопротивления, обусловленный как изменением свойств самой резины, так и наличием традиционных составляющих.

Силы сопротивления, возникающие при подъеме затвора из кармана сливной плотины:

$$\sum F = F_{м.с.} + F_{диф} + F_m + F_{тр.р} + F_{тр.к} + F_{тр.с} + F_{т.м} \quad (1)$$

где  $F_{м.с}$  – сила, создаваемая разрывом межмолекулярных связей диффундирующих слоев резины с основанием затвора;  $F_{диф}$  – сила разрыва диффузных слоев между основанием кармана сливной плотины и основанием затвора;  $F_m$  – сила тяжести затвора;  $F_{тр.р}$  – сила трения грушевидной резины с направляющими кармана при подъеме затвора;  $F_{тр.к}$  – сила трения качения колес;  $F_{тр.с}$  – сила трения подшипников скольжения;  $F_{т.м}$  – сила трения скольжения.

Нерегулируемый прямой пуск электроприводов подъемного механизма затвора ГЭС характеризуется частыми режимами стопорения, обусловленными повышенными силами и моментами сопротивления, что сопровождается значительными тепловыми и вибрационными нагрузками на этапе трогания. Указанные факторы приводят к интенсивному износу и высокой аварийности технологического оборудования, образованию микротрещин и разрушению бетонной конструкции карманов плотины.

В сложившейся ситуации возможны два альтернативных варианта модернизации нерегулируемых электроприводов подъемного механизма затворов сливной плотины:

- использование традиционных систем "soft-start" с расширенными функциональными возможностями предстартовой подготовки путем обеспечения повышенного пускового момента двигателя при частоте вращения  $\omega \approx (0.05 \div 0.1)\omega_{ном}$  или формирования шагового режима с импульсным характером момента двигателя;
- внедрение частотно-регулируемых электроприводов, позволяющих реализовать не только предстартовую подготовку, но и обеспечить требуемые динамические характеристики электроприводов при разгоне и торможении, минимизировать колебания подвешенного груза, повысить точность позиционирования механизмов подъема и передвижения, энергетическую эффективность электромеханической системы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Черны А.П., Гладырь А.И., Осадчук Ю.Г., Курбанов И.Р., Вошун А.Н. Пусковые системы нерегулируемых электроприводов. Монография – Кременчук: ЧП Щербатых А.В., 2006, 280 с.
2. Гладырь А.И. Экспериментальные пусковые характеристики насосного агрегата с учетом момента трогания / Вісник кременчуцького державного політехнічного університету: Зб. наук. пр. КДПУ.-Вип.2(19).-Кременчук: КДПУ, 2003, С. 247-249
3. Елисеев В.А. Шинянский А.В. Справочник по автоматизированному электроприводу. – М.: Энергоатомиздат, 1983, 616 с.
4. Унгу Флоренс, Иордан Гейнс, Системы согласованного вращения асинхронных электродвигателей. – Л.: Энергия, 1971, 183 с.
5. Ганелина С.А. «Каучук и резина». – М.: ООО «РЕАМ-РТИ», 1972, №5, С. 19-20
6. Соколовский А.А., Вайнштейн Э.Ф., Ухова Е.М., Кузьминский А.С. Старение резин в напряженном состоянии. – М.: ЦНИИТЭ Нефтехимии, 1988, С. 60-64.
7. Журков С.Н., Рыскин Г.Я. Исследование диффузии в полимерах. – ЖТФ 24(5), 797, 1954
8. Тимко А.И. Теоретическая механика. – Харьков: Издательство Харьковского университета, 1967, 318 с.
9. Слущер А.И., Веттешень В.И., Гиляров В.Л., Поликарпов Ю.И. Характеристика элементарных актов в кинетике механического разрушения полимеров. Физика твердого тела, том 49, вып.9 2007.
10. Бартенев Е.М., Зув Ю.С. Прочность и разрушение высокоэластичных материалов. – М.: Химия, 1964, 272 с.