

УДК 621.313

Ш.Р. ГУЛАМОВ

Научный руководитель М.В. Кипервассер, к.т.н., доцент  
Сибирский государственный индустриальный университет  
г. Новокузнецк.

## **ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЦЕПИ СТАТОРА СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА, РАБОТАЮЩЕГО НА АВТОНОМНУЮ НАГРУЗКУ, ПРИ АВАРИЯХ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ПРИВОДНОЙ ГИДРОТУРБИНЫ**

В настоящее время расширяется использование одиночных установок для преобразования гидравлической энергии в электрическую энергию. Основными причинами использования таких агрегатов являются: отсутствие традиционных электрических сетей в удаленных и труднодоступных районах местности, соображения надежности электроснабжения в случаях протяженных сетей малой мощности, а также рост тарифов на электроэнергию, вынуждающий использовать альтернативные источники электроэнергии.

Синхронный генератор и гидротурбины, работающие как на крупных, как и маломощных ГЭС, подвергаются большому количеству внешних воздействий в виде разного рода механических и электрических нагрузок.

Электрические нагрузки формируются токами, протекающими по обмоткам статора и иными перенапряжениями в цепях статора и ротора синхронного генератора.

Механические нагрузки возникают при передаче рабочего момента от вала гидротурбины на ротор синхронного генератора, от веса вращающихся частей, воспринимаемого опорными подшипниками (подпятника) и направляющими подшипниками агрегата, от других осевых усилий, в том числе нагрузке от гидроударов, дополнительных усилий, вызываемых вибрационными и иными явлениями (кавитация).

Известно, что для контроля защиты от аварийных режимов механической части электротехнического комплекса, имеющего в своем составе электрическую машину, можно использовать косвенные методы, основанные на измерении электрических параметров рассматриваемой электротехнической системы [1, 2].

Разработка подобных схем защиты может быть основана на предварительной оценке изменения контролируемых электрических параметров в различных аварийных ситуациях. С этой целью составлена математическая модель электротехнического комплекса, имеющего в своем составе гидравличе-

скую турбину малого расхода и синхронный генератор, работающий на автономную нагрузку. Для разработки математической модели гидротурбины малых ГЭС, где можно промоделировать ее режим работы в аварийных режимах работы используем известные уравнения описывающих гидротурбину [3].

Математическое описание синхронного генератора осуществляется по известным уравнениям с целью разработки алгоритма построения структуры рассматриваемой системы и расчета её параметров [4].

Механические параметры синхронного гидрогенератора определяются из уравнений движения [5]:

$$M_T - M_{ЭМ} - \Delta M = J_{\Sigma} \frac{d\omega}{dt}, \quad (3)$$

где  $M_T$  – момент создаваемой гидротурбиной;  $M_{ЭМ}$  – электромагнитный момент создаваемым током нагрузки синхронного генератора.

В установившемся режиме мощность синхронного генератора определяется следующим образом [4]:

$$P_3 = M_3 \omega. \quad (5)$$

Для электротехнического комплекса в составе “гидротурбина-генератор”, работающего на автономную нагрузку, соответствует структурная схема математической модели, приведенная на рисунке 1.

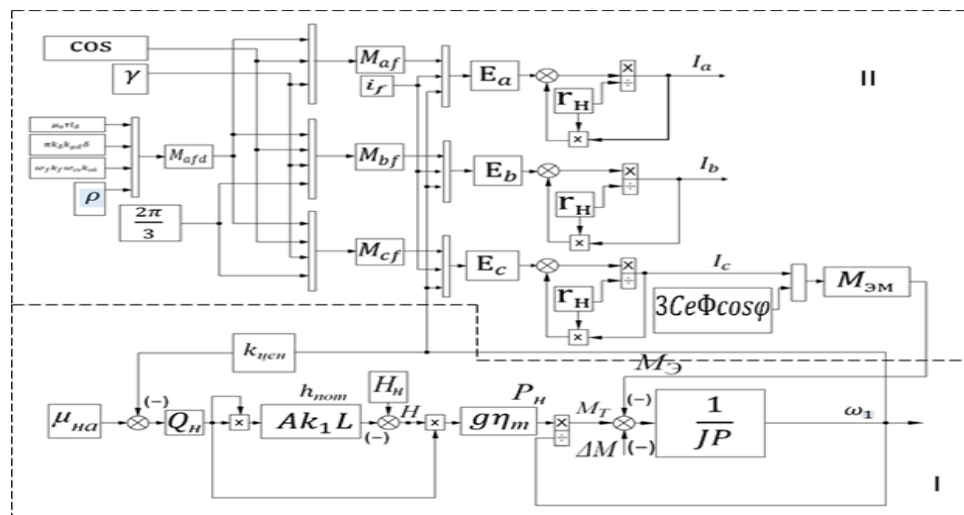


Рисунок 1. Структурная схема математической модели гидроагрегата с синхронным генератором

Входными параметрами при моделировании являются величина отклонения момента на валу гидротурбины в аварийных режимах, скорость вращения турбины и напор водонапорного водовода ( $\Delta M$ ,  $\omega_1$ , Н). Выходными

исследуемыми параметрами модели являются электрические параметры генератора – фазные напряжения и токи ( $U_a, U_b, U_c, I_a, I_b, I_c$ ).

Разработанная математическая модель позволила получить переходные процессы электрических и механических параметров агрегата, вызванные возникновением неисправности механической части.

В ходе эксперимента моделировалось аварийная ситуация с заклиниванием и разрушением одного из двух опорных подшипников ротора гидравлической турбины, синхронный генератор которого работает на автономную нагрузку.

В качестве эталонного принято отклонение момента на валу турбины, вызванное аварийным событием, выше 40% от номинального, что является вполне приемлемым для моделируемой турбины с диаметром колеса 0,42 м. Графики переходных процессов скорости и момента гидротурбины, электромагнитного момента создаваемой током статора синхронного генератора, напряжения, тока статора и давления в водонапорном трубопроводе показаны на рисунках 2, 3, и 4.

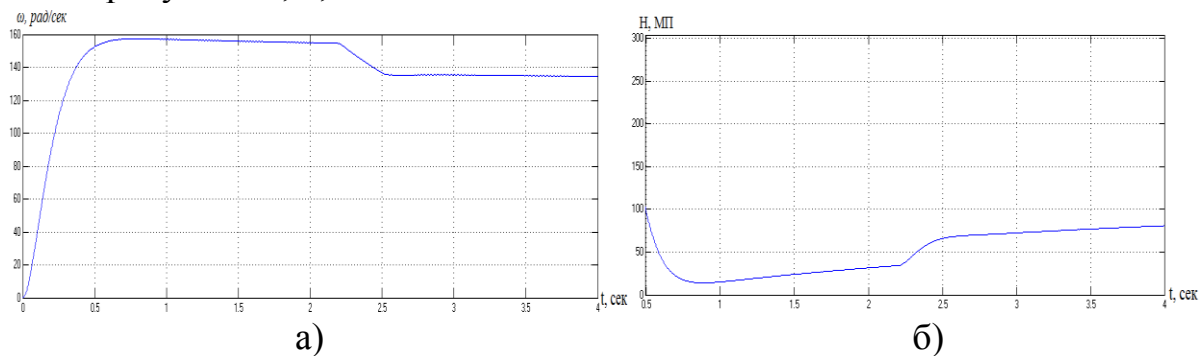


Рисунок 2. Графики переходных процессов скорости гидроагрегата (а) и изменения давления в водонапорном водоводе (б)

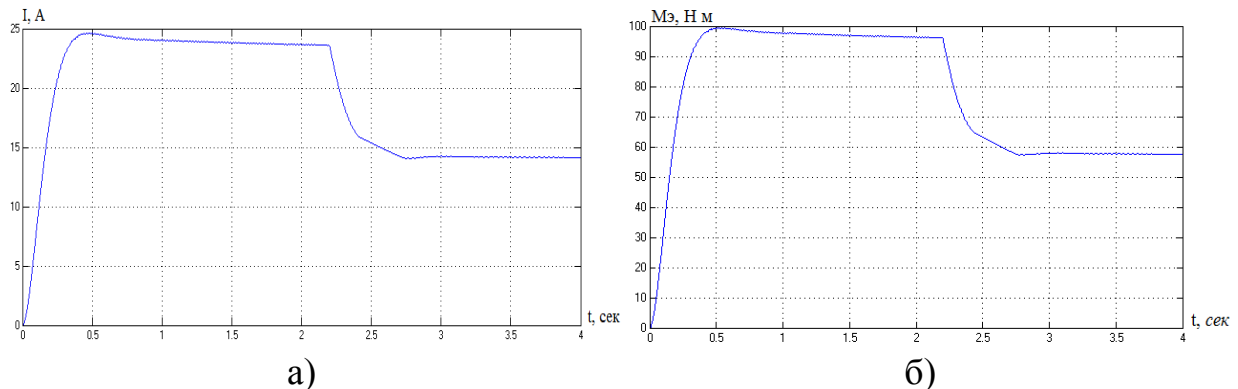


Рисунок 3. Графики переходных процессов тока статора (а) и электромагнитного момента синхронного генератора (б)

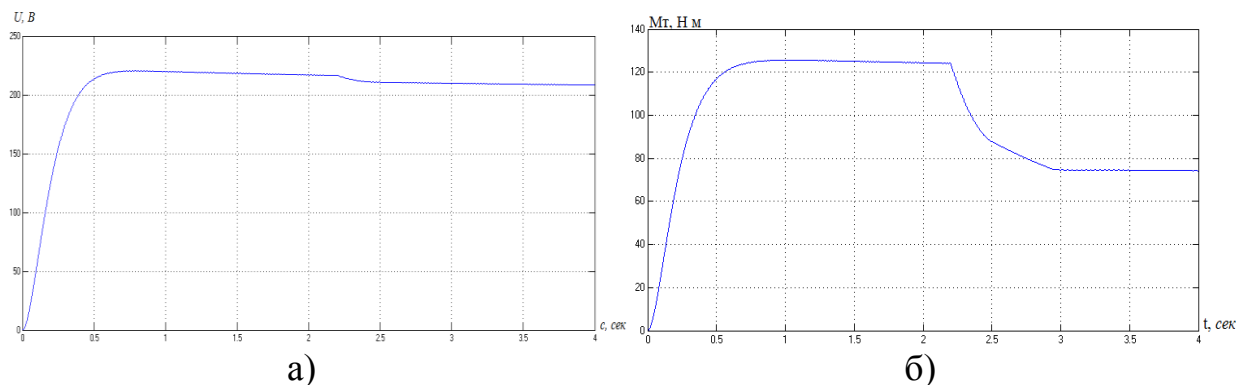


Рисунок 4. Графики переходного процесса напряжения якоря(а) и механического момента на валу гидротурбины (б)

Переходные процессы, приведенные на рисунке 2 – 4 показывают, что при увеличении момента создаваемого механической поломкой  $\Delta M$  приводит к уменьшению скорости вращения гидротурбины, соответственно к падению напряжения и тока статора синхронного генератора, механического момента создаваемого гидротурбиной и электромагнитного момента синхронного генератора, а также к увеличению давления в водонапорном водоводе. Моменты времени начала переходных процессов контролируемых параметров скорости, напряжения, механического момента, электромагнитного момента, давления водоводе и тока статора совпадают с временем возникновения аварийной ситуации.

Полученные в ходе моделирования оценки параметров работающего синхронного генератора сопряженного с гидравлической турбиной позволяют установить наличие устойчивой связи между происходящими аварийными событиями механической части и электрическими параметрами агрегата. В свою очередь наличие такой связи делает возможным использование отклонение электрических и механических параметров в аварийных режимах для защиты гидроагрегата от механических повреждений.

### Список литературы

1. Савельев А.Н., Кипервассер М.В., Инжелевская О.В. Распознавание аварийных ситуаций механического оборудования с электроприводом постоянного тока. / Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2011 г. №6 – С. 42-45.
2. Кипервассер М.В. Методика автоматического распознавания аварийных ситуации механического оборудования, сопряженного с электрической машиной. / Автоматизированный электропривод и промышленная электро-

ника: Сборник научных трудов Четвертой Всероссийской научно-практической конференции, г. Новокузнецк: изд-во СибГИУ, 2010 г. – С. 245-247.

3. Асарин А. Е., Бестужева К. Н. Водозаэнергетические расчеты. – М.: Энергоатомиздат, 1986. 224 с.

4. Вольдек А.И. Попов В.В. Электрические машины. Машины переменного тока: Учебник для вузов. – СПб.: Питер, 2008 – 349 с.: ил.

5. Онищенко Г.Б. Электрический привод. Учебник для вузов – М.:РАСХН. 2003. – 320 с.: ил.