

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ
ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ С УЧЕТОМ АВТОМАТИКИ КОТЛОВ С ЦЕЛЬЮ
РАСЧЕТА ПЕРЕХОДНЫХ РЕЖИМОВ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**

Извольский М.А.

Научный руководитель – к.т.н. Буланова О.В.,

к. т.н., доцент Малафеев А.В.

*Магнитогорский государственный технический университет
им. Г.И. Носова*

Развитие рыночных отношений в условиях современной России существенно изменяет структуру питания потребителей электроэнергии крупных промышленных предприятий. Одной из тенденций является увеличение мощностей собственных генераторов с целью снижения себестоимости электроэнергии и повышения надежности электроснабжения. Это приводит к усложнению возможных режимов и не исключает выхода собственной электростанции с нагрузкой на раздельную работу. Для минимизации ущерба от таких аварийных ситуаций целесообразно прогнозировать подобные режимы с помощью соответствующего программного обеспечения.

Если при выходе на раздельную работу электростанции в результате действия делительной автоматики соблюдается баланс генерируемых и потребляемых активных и реактивных мощностей, то велика вероятность сохранения величин частоты и напряжения на номинальном уровне. При нарушении баланса начинается переходный электромагнитный процесс, переходящий в электромеханический. При этом могут существенно измениться скорости вращения роторов турбин за счет скачкообразного изменения электромагнитных мощностей в узле.

Переходные электромеханические режимы длятся десятки секунд, следовательно, на их параметры оказывает влияние не только действие автоматических регуляторов генератора и турбины, но работа автоматических регуляторов котлов. Особенно учет котельной автоматики актуален при выходе на раздельную работу избыточного или дефицитного по активной мощности узла.

Как известно из работ, посвященных регулированию котельных агрегатов, например, авторов А.С. Ключева и А.Г. Товарнова, регулирование питания котельных агрегатов сводится к поддержанию материального баланса между отводом пара и подачей воды. Параметром, характеризующим такой баланс, является уровень воды в барабане котла. Снижение уровня ниже допустимых пределов может привести к нарушению циркуляции в экранных трубах, в результате чего произойдет повышение температуры стенок обогреваемых труб и их пережог. Значительное повышение уровня воды в барабане также может привести к аварийным последствиям, так как при повышенном уровне возможен заброс воды в пароперегреватель и турбину, что вызовет занос пароперегревателя солями или поломку турбины.

Поддержание уровня котла в барабане определяется тремя основными факторами: подачей в котел питательной воды, паровой нагрузкой котла и объемом подаваемого топлива. Значительные изменения расхода питательной воды могут вызвать температурные напряжения в металле экономайзера. Возмущение расходом питательной воды может происходить как при регулирующем воздействии, так и при изменении давления в питательной магистрали. Изменение нагрузки потребителя при стабильном расходе топлива вызывает отклонение давления в котле. Изменение

объемов подаваемого топлива приводит к изменению парообразования и, следовательно, также к изменению паровой нагрузки.

Для моделирования процессов, происходящих при регулировании котельного агрегата, обычно используются передаточные функции. Для котельного агрегата имеют значение регулирующие воздействия по следующим каналам: изменение расхода питательной воды – изменение уровня; изменение расхода пара (паросъема) – изменение уровня; изменение расхода топлива – изменение уровня.

Как известно, передаточная функция изменение расхода питательной воды – изменение уровня имеет вид:

$$W_{fW}(p) = \frac{1}{T_1 p} - \frac{k_1}{T_2 p + 1},$$

где T_1 - постоянная времени интегрирующего звена при постоянном ступенчатом возмущающем воздействии расхода питательной воды, с.; T_2 - постоянная времени инерционного звена первого порядка при постоянном ступенчатом возмущающем воздействии расхода питательной воды, с.; k_1 - коэффициент передачи инерционного звена первого порядка, о.е., определяется из отношения:

$$k_1 = \frac{H}{W_0},$$

где H - уровень воды в барабане котла, о.е.; W_0 - количество подаваемой питательной воды в котел, о.е.

Чтобы использовать данную зависимость при расчете переходных электромеханических процессов в системах электроснабжения необходимо перейти к конечным приращениям и определить влияние изменения возмущающего параметра на уровень воды в барабане. Поскольку расчет предполагается вести известным методом последовательных интервалов, то приращения будут определяться на каждом из n интервалов расчета. В алгебраическом виде изменение уровня воды в барабане за счет изменения расхода питательной воды определится:

$$\Delta H_{n1} = \left(-\frac{H_n + k_1 W_n}{T_2} + \frac{W_n}{T_1} \right) \Delta t,$$

Передаточная функция изменение расхода пара – изменение уровня имеет вид:

$$W_{fD}(p) = -\frac{1}{T_5 p} + \frac{k_2}{T_6 p + 1},$$

где T_5 - постоянная времени интегрирующего звена при постоянном ступенчатом возмущающем воздействии расхода пара, с.; T_6 - постоянная времени инерционного звена первого порядка при постоянном ступенчатом возмущающем воздействии расхода пара, с.; n - номер интервала расчета переходного процесса; k_2 - коэффициент передачи инерционного звена первого порядка, о.е., определяется из отношения:

$$k_2 = \frac{H}{D_0},$$

где D_0 - паровая нагрузка, о.е.

Изменение уровня воды в барабане за счет изменения расхода пара определится:

$$\Delta H_{n2} = \left(\frac{-H_n + k_2 D_n}{T_6} - \frac{D_n}{T_5} \right) \Delta t,$$

Передаточная функция изменение расхода топлива – изменение уровня:

$$W_{fB}(p) = -\frac{1}{T_8 p} + \frac{k_3}{T_7 p + 1},$$

где T_8 - постоянная времени интегрирующего звена при постоянном ступенчатом возмущающем воздействии расхода топлива, с.; T_7 - постоянная времени инерционного звена первого порядка при постоянном ступенчатом возмущающем воздействии расхода топлива, с.; k_3 - коэффициент передачи инерционного звена первого порядка, о.е., определяется из отношения:

$$k_3 = \frac{H}{B_0},$$

где B_0 - расход топлива, о.е.

Изменение уровня в барабане за счет изменения расхода топлива определится:

$$\Delta H_{n3} = \left(\frac{-H_n + k_3 B_n}{T_7} - \frac{B_n}{T_8} \right) \Delta t$$

Далее определяется суммарное изменение уровня воды, а также дальнейшее изменение расхода питательной воды, подаваемой в котел, в результате работы регулятора. При снижении уровня воды в котле ниже допустимого действует аварийная автоматика котла и происходит останов котла. При неизменной подаче топлива и допустимом уровне воды в барабане паропроизводительность, а следовательно, механический момент турбины без учета действия регуляторов, не меняется.

В свою очередь, возмущающие воздействия зависят от параметров режима системы электроснабжения. Так, изменение частоты приводит к изменению подачи воды в котел, а сброс активной электромагнитной мощности в аварийных режимах приводит к изменению паровой нагрузки. Это учтено в полученных моделях.

Разработанные математические модели предполагается использовать в алгоритме, сочетающем метод последовательного эквивалентирования для расчета установившихся и метод последовательных интервалов для расчета переходных режимов систем электроснабжения. Алгоритм положен в основу программного обеспечения по расчету электромеханических переходных режимов систем электроснабжения промышленных предприятий, имеющих собственные электростанции. Программный комплекс позволит исследовать устойчивость систем электроснабжения даже при выходе на автономную с энергосистемой работу с учетом

действия котельной автоматики. По результатам расчета предполагается выдача рекомендаций для повышения эффективности действия делительной автоматики промышленных систем электроснабжения, повышения устойчивости работы синхронных машин и надежности электроснабжения промышленных потребителей.