

УДК 629.039.58

МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ СЦЕНАРИЯ РАЗВИТИЯ СОБЫТИЙ НА ЭНЕРГОБЛОКЕ АЭС В СЛУЧАЕ ПОТЕРИ ВАКУУМА В КОНДЕНСАТОРЕ ТУРБОАГРЕГАТА

Волчкевич О.М.

Научный руководитель – старший преподаватель Буров А.Л.

Основной задачей строительства и эксплуатации атомных электрических станций является безопасное производство электроэнергии и получение прибыли. В связи с этим постоянно идёт совершенствование систем безопасности, разработка и переработка технических нормативно-правовых актов и административно-технических процедур, а также ведутся поиски путей оптимизации производства.

Одной из возможных аварий является ухудшение вакуума в конденсаторе турбоагрегата, что может привести как к необходимости снижения мощности ТУ, так и к полной остановке ТУ. Зависит это от того какие причины возникновения потери вакуума.

Основными причинами потери вакуума в конденсаторе турбины являются:

- ✓ увеличение концентрации воздуха,
- ✓ тепловые перегрузки конденсатора.

Из причин повышения концентрации воздуха в конденсаторе можно выделить:

- ✓ разуплотнение проточной части турбоустановки,
- ✓ повреждение конструкций, арматуры,
- ✓ отказ/отключение основных эжекторов.

Второй основной причиной потери вакуума является тепловая перегрузка конденсатора. В основном тепловая перегрузка происходит по нескольким причинам:

- ✓ снижение расхода охлаждающей воды,
- ✓ повышение температуры охлаждающей воды,
- ✓ загрязнение трубок конденсатора,
- ✓ уменьшение поверхности теплообмена,
- ✓ повышенный сброс в конденсатор высокопотенциальных потоков пара, воды.

Следует отметить, что все элементы системы главных конденсаторов турбины в соответствии с [1] относятся к 4 классу безопасности.

В соответствии с [2] все элементы системы относятся ко II категории сейсмостойкости.

В случае если отключается 1 ЦН из 4: ТУ разгружается до 80% $N_{ном}$; закрываются задвижки подачи отборов ТУ к деаэратору, КСН, подачи пара от СПП к ТПН; снижается и стабилизируется мощность РУ на уровне 80-85%.

В случае если отключаются 2 ЦН из 4: ТУ разгружается до 60% $N_{ном}$; закрываются задвижки подачи отборов ТУ к деаэратору, КСН, подачи пара от СПП к ТПН; снижается и стабилизируется мощность РУ на уровне 60-65%.

В таких режимах ТУ может работать, пока не устранится проблема с ЦН, и они не будут введены в работу.

В случае если отключаются 4 ЦН из 4: закрываются СК турбоагрегата; срабатывает УРБ, РОМ, мощность РУ снижается до 40% $N_{ном}$; открывается БРУ-А, так как на работу БРУ-К действует запрет; ТПН-А,Б теряют производительность и отключаются действием «защиты Р в конд. 0,6»; РОМ снижает мощность до 8% $N_{ном}$; отключается ГЦН-1-4 по уровню в ПГ менее 1750 мм; срабатывает АЗ РУ по количеству работающих ГЦН; включается АПЭН.

В режиме с отключением четырёх ЦН дальнейшая работа ТУ и РУ невозможна [3].

Рассмотрим случаи, при которых на ВВЭР-1000 работает в нормальном режиме, при отключении 1 из 4 ЦН, при отключении 2 из 4 ЦН разных конденсаторных групп, при отключении 2 из 4 ЦН одной конденсаторной группы, при отключении 3 из 4 ЦН.

При нормальной работе нормальной работе станции персонал обязан следовать инструкциям по нормальной эксплуатации станции.

Как видно из графика, приведенного на рис.1, при нормальной эксплуатации скачков давления в ПГ и ГПК не наблюдаются, мощность РУ и ТУ стабилизирована, уровень в ПГ стабильный, расход на питательные насосы стабильный. На графике указаны мощность ТУ (TUR_POWER), мощность РУ (T_POWER), давление в ГПК (RC11P01), давление в ПГ (YB10P10), расход на питательные насосы (RL4F01), уровень питательной воды в ПГ (YB10L14), уровень питательной воды в деаэраторе (RL21L01).

При отключении 1 из 4 ЦН начинается автоматическая разгрузка ТУ до 80 $N_{ном}$ действием ЭЧСР со скоростью 0,25-0,3% в секунду. Закрывается задвижка подачи пара от отборов ТУ к деаэратору, КСН, подачи пара от СПП к ТПН. Мощность РУ стабилизируется на уровне 80-85% $N_{ном}$. В таком режиме станция может продолжать работу (рис. 2).

Небольшой скачек мощность ТУ объясняется изменением давления в 6 и 7 отборе. Теплоноситель из-за отключения ЦН не охлаждается до нужной температуры, поступает в ПНД-1,2, где отборы пара из ТУ не отдают все тепло теплоносителю, тем самым возвращается в ТУ и идет в конденсатор. Это и вызывает изменение давления в последних отборах и скачек мощности. Персонал при таком сценарии должен сообщить об отключении ЦН, контролировать перечисленные на графике параметры, по необходимости их стабилизировать.

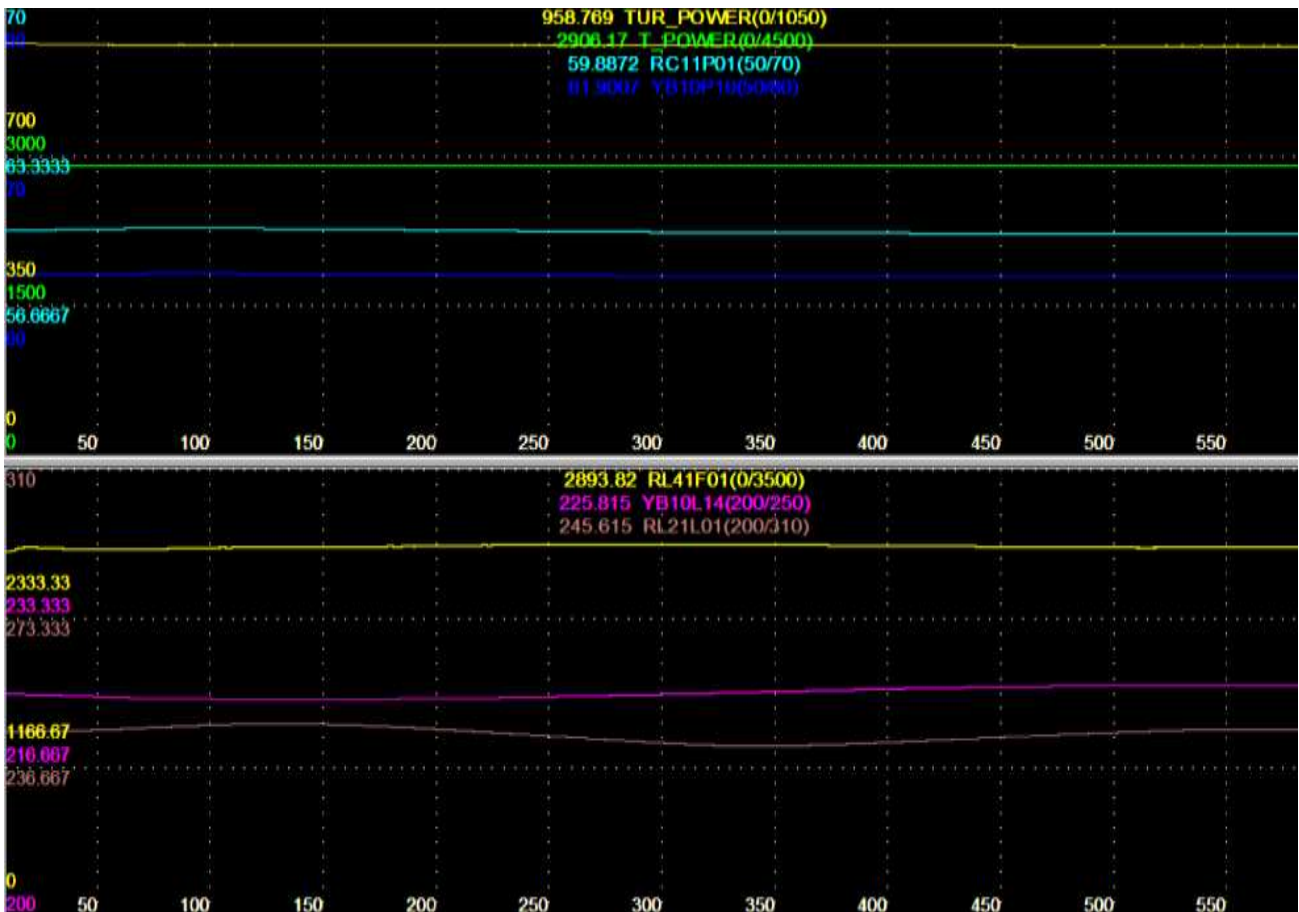


Рисунок 1. График параметров при нормальной эксплуатации

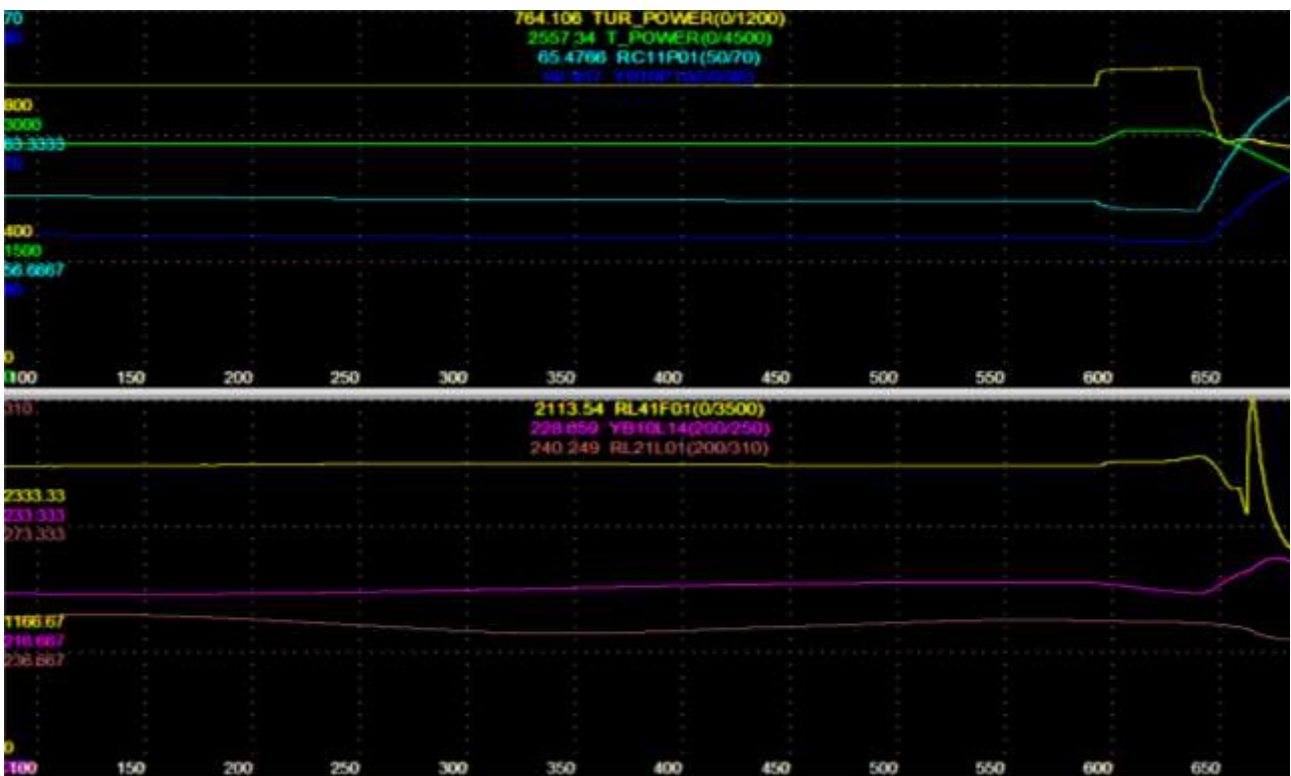


Рисунок 2. График параметров при отключении 1 из 4 ЦН

При отключении 2 из 4 ЦН разных конденсаторных групп работа станции так же возможна, но при мощности ТУ и РУ 60% $N_{ном}$.

Как видим из графика, приведенного на рис.3, снова наблюдается небольшой скачком мощности ТУ. При таком сценарии для нормальной дальнейшей эксплуатации станции персонал должен перевести 2 ТПН в ручной режим и обеспечивать стабильный расход ТПН.

При отключении 2 из 4 ЦН одной конденсаторной группы дальнейшая работа станции в нормальной режиме или на пониженной мощности невозможна.

При таком сценарии турбина отключается по причине снижения вакуума в конденсаторе, срабатывает АЗ. Синусоидальный вид всех графиков, кроме мощностей ТУ и РУ, объясняется тем что пары выбрасывается из БРУ-А в атмосферу. Персонал в таком случае должен произвести “горячий останов” реактора, затем произвести переход в “холодный останов”.

При отключении 3 из 4 ЦН работа станции так же невозможна, что показано на рис. 4.

В таком случае ТУ отключается по причине снижения вакуума в конденсаторе и отключении 2 ТПН. Персонал обязан перевести РУ в безопасное состояние.

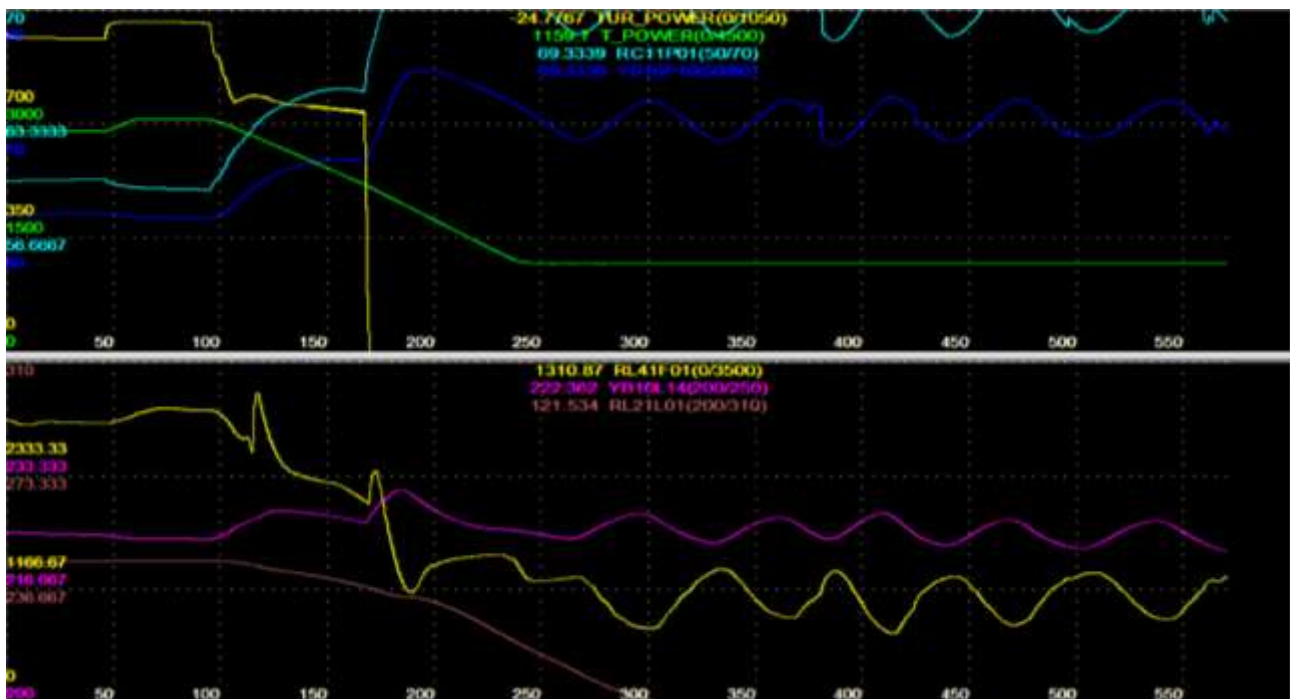


Рисунок 3. График параметров при отключении 2 из 4 ЦН одной конденсаторной группы

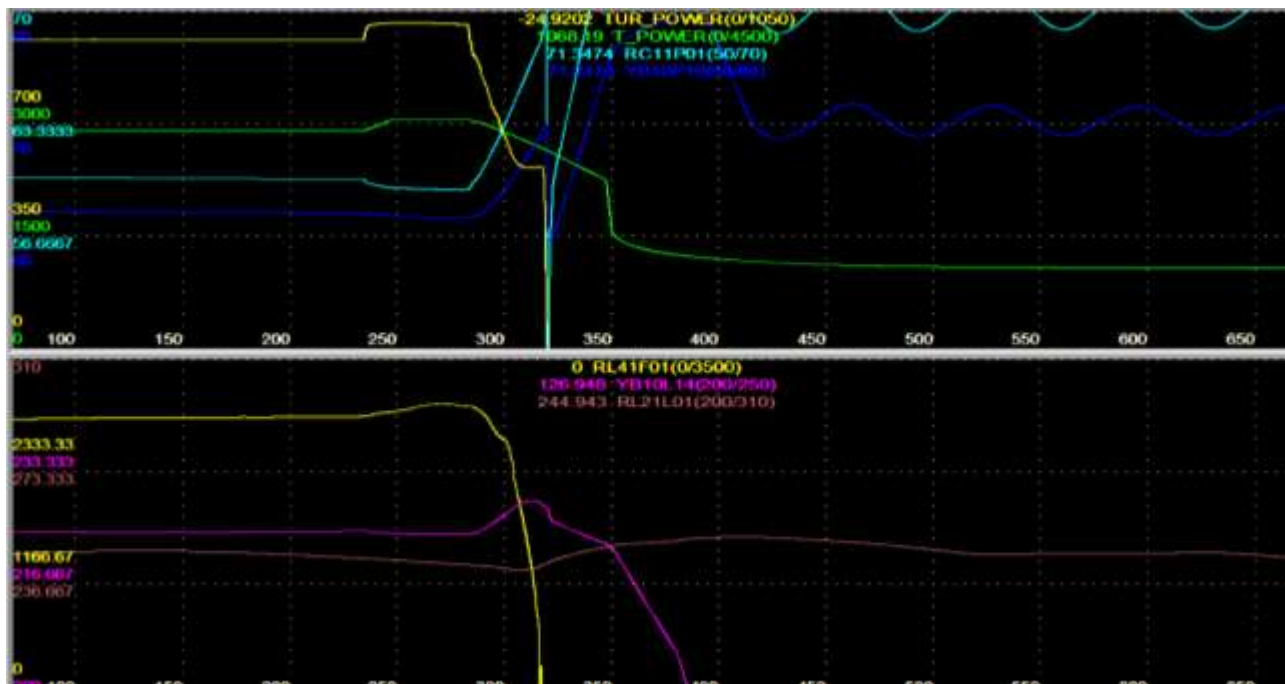


Рисунок 4. График параметров при отключении 3 из 4 ЦН

В ходе разобранных сценариев можно отметить, что ЦН являются важным элементом системы охлаждения на станции, неисправность которого может привести к полной остановке ТУ. Работа при отключении 1 или 2 ЦН разных конденсаторных групп возможна, при правильных действиях со стороны персонала. Так же квалифицированный персонал обязан обладать знаниями и умениями перевести РУ в безопасное состояние при отключении 2 из 4 ЦН одной конденсаторной группы или 3 из 4 ЦН. Квалифицированный персонал и своевременные его действия один из важнейших критериев безопасности на станции.

Литература

1. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Общие положения обеспечения безопасности атомных станций» (НП-001-15) от 15 февраля 2016 г.
2. Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Нормы проектирования сейсмостойких атомных станций» НП-031-01 от 01 января 2002 г.
3. Руководящие указания по тепловому расчету поверхностных конденсаторов мощных турбин тепловых и атомных электростанций. (РД 34.30.104) от 20.05.1981 г.