

УДК 620.424.1

А.А. КОНСТАНТИНОВ, старший преподаватель (НИУ МЭИ)
Научный руководитель М.М. СУЛТАНОВ, к.т.н., доцент (НИУ МЭИ)
г. Волжский

К ВОПРОСУ НАДЕЖНОСТИ ТЭС В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭНЕРГЕТИКИ

На сегодняшний день тепловыми электрическими станциями (далее – ТЭС) вырабатывается 36% электрической энергии и порядка 46% тепловой энергии в виде пара и горячей воды. Долевое участие каждого вида генерации в снабжении потребителя разным типом энергии показано на рис. 1.

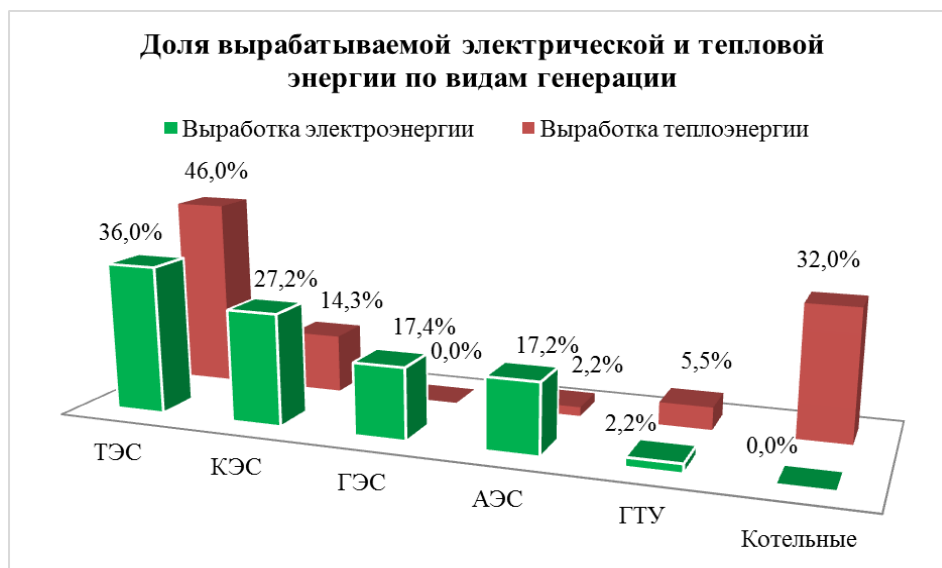


Рис. 1. Структура выработки электрической и тепловой энергии по видам генерации России

Такая картина сложилась на фоне централизации теплоснабжения потребителя теплом. При этом около 92% генерирующих единиц введено в эксплуатацию до 1989 года. К текущему периоду большая часть основного фонда теплоэнергетического оборудования как морально, так и физически устарело. В связи с этим на первый план выходит вопрос оценки показателей надежности ТЭС в условиях цифровой трансформации энергетики.

В [1] дано определение надежности технического объекта как его свойство сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования. Основным показателем, характеризующим высокую надежность ТЭС является безотказность, который в свою очередь определяется интенсивностью и вероятностью отказа. На рис. 2 приведены статистические данные по отказам основного и вспомогательного оборудования электростанции.

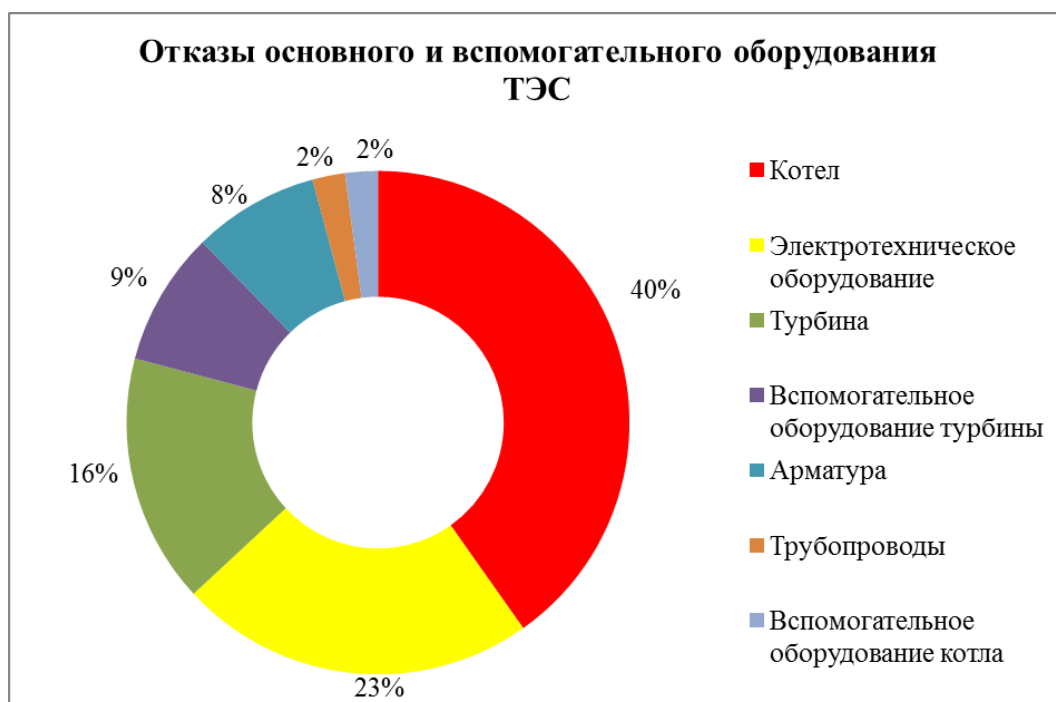


Рис. 2. Структура отказов оборудования ТЭС

Отказ основного (весомого по рис. 2) оборудования ТЭС приводит к полному останову с прекращением отпуска электрической и тепловой энергии потребителям, что приводит к существенному экономическому ущербу.

При оценке надежности ТЭС блочного исполнения или с поперечными связями такие показатели, как средняя наработка на отказ оборудования T_O , а также среднее время восстановления работоспособного состояния T_B , связаны с неопределенностью [2]. Аналитическое определение этих показателей надежности основано на законах теорий вероятности и носят ожидаемый характер.

В общем случае узлы и агрегаты основного энергетического оборудования относятся к невосстанавливаемым изделиям. Нарботка на отказ для

такого типа изделий, в области энергетики, часто подчиняется экспоненциальному закону распределения [3].

Авторами [4] проделана работа по переходу от общего случая определения показателей надежности к частным. Так с учетом Марковских процессов протекающих в энергетике, вероятность безотказной работы оборудования ТЭС можно записать выражением

$$P_o(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} + \frac{\lambda}{\lambda + \mu} e^{-(\lambda + \mu)t}, \quad (1)$$

где μ - интенсивность восстановления;

λ - интенсивность отказов;

t - рассматриваемый период.

Обратная величина выражению (1), вероятность отказа системы, определяется по формуле

$$P_1(t) = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} + \frac{\mu}{\lambda + \mu} e^{-(\lambda + \mu)t}. \quad (2)$$

При условии $t = 0$: $P_o(0) = 1$, а $P_1(0) = 0$. Если рассматривать период $t = \infty$ и принять во внимание известные факты, что интенсивность отказа это обратная величина наработки на отказ, а интенсивность восстановления – обратная величина времени восстановления после отказа системы, то выражения (1) и (2) преобразуются в вид

$$P_o = \frac{T_o}{T_o + T_B}, \quad (3)$$

$$P_1 = \frac{T_B}{T_o + T_B}. \quad (4)$$

Выражение (3) носит понятие коэффициента готовности $K_{ГОТ}$, а выражение (4) – коэффициент аварийного состояния системы $K_{АВР}$.

Как известно направление по расчету показателей надежности ТЭС недостаточно изучено и проработано. На данный момент известны две методики по определению $K_{ГОТ}$ и $K_{АВР}$.

Первая базируется на понятиях математической статистики и требует точных (правдивых) отчетных данных ТЭС о времени восстановления и фактов отказа системы. В работе [4] изложен материал по созданию информационной системы по надежности ТЭС Республики Беларусь. В ядро информационной системы заложена база данных по времени отказов и

восстановления ТЭС, причин аварийного простоя оборудования, состава оборудования вышедшего из строя и другие данные из Актов расследования технологических нарушений в работе электростанции.

В основу второй методики определения показателей надежности оборудования ТЭС заложена модель математического ожидания интенсивности отказов и восстановления, и как следствие наработки на отказ и времени восстановления системы после отказа. Автором работы [5] разработана методика определения значений вероятности отказа элемента энергооборудования через коэффициент запаса K_z с помощью законов и параметров дифференциальных функций распределения случайных величин действующих напряжений. Исходными данными для применения этой модели являются уровень вырабатываемой мощности, давление, температура и расход рабочих тел, т.е. фактические параметры работы энергетического оборудования ТЭС. Этот факт делает данный метод более точным и близким к реальным показателям надежности оборудования.

Выводы

1. Доля отпуска электрической и тепловой энергии ТЭС потребителям выше, чем у других видов генерации России.
2. Высока степень физического и морального износа основного фонда теплоэнергетического оборудования генерирующих систем России приводит к увеличению процента отказов.
3. Получены математические зависимости показателей надежности энергетического оборудования от параметров работы ТЭС.
4. Рассмотрены две методики расчета показателей надежности с применением инструмента математической статистики и математического ожидания вероятности отказа и времени восстановления после отказа. Выделены их достоинства и недостатки.
5. Обозначено актуальное направление по разработке программы определения текущих показателей надежности энергетического оборудования ТЭС на базе цифровых технологий.

Работа выполнена при финансовой поддержке государственного задания Российской Федерации FSWF-2020-0025 «Разработка методов и анализ способов достижения высокого уровня безопасности и конкурентоспособности объектов энергетических систем на базе цифровых технологий».

Список литературы:

1. ГОСТ 27.002 – 2015 «Надежность в технике».

-
2. Борушко, А. П. Надежность и эффективность электростанций: методы и практика: учеб-метод. пособие по дисциплине «Надежность оборудования ТЭС» / А. П. Борушко, Г. А. Борушко, Н. Б. Карницкий. – Минск: БНТУ, 2007. – 182 с.
 3. Беляев, С.А. Надежность теплоэнергетического оборудования ТЭС. / В.В. Литвак, С.С. Солод – Томск: Изд-во НТЛ, 2008 – 218 с.
 4. К вопросу создания информационной базы данных по надежности основного оборудования ТЭС / Н.Б. Карницкий, А.Л. Буров, Е.Г. Веремейчик, А.В. Карпук // Наука и техника. - 2012. - №4.- С.73-80.
 5. Анкудинова, М.С. Вероятностная модель расчета безотказности элементов энергооборудования комбинированных ТЭУ / М.С. Анкудинова // Современные проблемы науки и образования. - 2013. - №6.- С.136.

Информация об авторах:

Константинов Анатолий Алексеевич, старший преподаватель кафедры Энергетики, НИУ МЭИ, 404110, г. Волжский, пр. Ленина, д. 69, 88_slam_88@mail.ru

Султанов Махсуд Мансурович, к.т.н., доцент кафедры Энергетики, НИУ МЭИ, 404110, г. Волжский, пр. Ленина, д. 69