

Торайғыров университетінің хабаршысы
ҒЫЛЫМИ ЖУРНАЛЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайғыров университета

Торайғыров университетінің ХАБАРШЫСЫ

Энергетикалық сериясы
1997 жылдан бастап шығады



ВЕСТНИК Торайғыров университета

Энергетическая серия
Издается с 1997 года

ISSN 2710-3420

№ 2 (2022)

ПАВЛОДАР

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
Вестник Торайгыров университета

Энергетическая серия
выходит 4 раза в год

СВИДЕТЕЛЬСТВО

о постановке на переучет периодического печатного издания,
информационного агентства и сетевого издания
№ 14310-Ж

выдано

Министерство информации и общественного развития
Республики Казахстан

Тематическая направленность

публикация материалов в области электроэнергетики,
электротехнологии, автоматизации, автоматизированных и
информационных систем, электромеханики и теплоэнергетики

Подписной индекс – 76136

<https://doi.org/10.48081/ZOCF4313>

Бас редакторы – главный редактор

Кислов А. П.

к.т.н., доцент

Заместитель главного редактора

Талипов О. М., *доктор PhD, доцент*

Ответственный секретарь

Приходько Е. В., *к.т.н., профессор*

Редакция алқасы – Редакционная коллегия

Клецель М. Я., *д.т.н., профессор*
Новожилов А. Н., *д.т.н., профессор*
Никитин К. И., *д.т.н., профессор (Россия)*
Никифоров А. С., *д.т.н., профессор*
Новожилов Т. А., *к.т.н., доцент (Россия)*
Оспанова Н. Н., *к.п.н., доцент*
Нефтисов А. В., *доктор PhD, доцент*
Шокубаева З. Ж. *технический редактор*

За достоверность материалов и рекламы ответственность несут авторы и рекламодатели

Редакция оставляет за собой право на отклонение материалов

При использовании материалов журнала ссылка на «Вестник Торайгыров университета» обязательна

© Торайгыров университете

***М. Д. Шавдинова¹, Н. Г. Борисова²**

¹Казахстанско-Немецкий Университет», Республика Казахстан, г. Алматы;

²Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева, Республика Казахстан, г.Алматы

МОДЕЛЬ ДЕРЕВА СОБЫТИЙ КОНДЕНСАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ

В работе проведен анализ существующих диагностических комплексов энергетического оборудования. Предложена модель дерева событий конденсационной установки паровой турбины Т-110/120 АлЭС ТЭЦ-2. Модель дерева событий представляет собой графический способ отслеживания неисправностей в конденсационной установке. Модель позволяет определить сценарий развития аварии с разными последствиями от разных исходных событий. Структура дерева событий состоит из главного события – потеря эффективности конденсационной установки, промежуточных и базовых событий, установленных связей событий, влияющих на главное событие. Модель дерева событий конденсационной установки паровой турбины включает неисправности конденсатора, пароструйного эжектора, конденсатного насоса, циркуляционного насоса, циркуляционного тракта. Рассмотрены развития нескольких событий. Кроме того, дерево событий включает неисправности, связанные с уровнем эксплуатации. Получено, что вероятность потери эффективности конденсационной установки составляет 51 %. Установлено, что наибольшую опасность составляет неисправность конденсатного насоса, вероятность которой составляет 85 %. Предложены рекомендации эксплуатационному персоналу, основными из которых являются регулярные профилактические чистки трубок конденсатора, градирни; контролировать присосы воздуха; наладить работу питательных и циркуляционных насосов и т.д. Модель дерева событий конденсационной установки можно использовать как на производстве, так и в процессе подготовки специалистов-теплоэнергетиков при выполнении виртуальных лабораторных работ.

Ключевые слова: дерево событий, конденсационная установка, пароструйный эжектор, циркуляционный насос, конденсатный насос, неисправности.

Введение

Конденсационная установка является важнейшим элементом паротурбинной установки, включающее различное оборудование и системы. Основным назначением конденсационной установки является конденсация отработавшего пара турбины и поддержание давления отработавшего пара для экономичной работы турбоагрегата на требуемом уровне [1].

Нарушения в работе конденсационной установки могут приводить к снижению экономичности паротурбинной установки, а также к аварийным остановам паротурбинной установки в целом.

В работе [2] проведен анализ повреждаемости различных технологических подсистем паротурбинной установки и анализ повреждений (отказов) элементов конденсационной установки. В ходе анализа выявлено, что наибольший процент отказов – 37 % приходится на долю собственно турбины, до 23 % отказов вызывается повреждениями питательного насоса, по 13 и 15 % относятся, соответственно, к конденсационной установке и системе регенерации турбины, 9 % отказов – трубопроводы и арматура и 3 % отказов – маслосистема.

Анализ повреждений (отказов) элементов конденсационной установки показывает, что наибольшая доля отказов (46 %) приходится на конденсаторы, затем – циркуляционные насосы (24 %), эжекторы (19 %) и конденсатные насосы (11 %) [2].

Много работ посвящено диагностике и мониторингу состояния оборудования паротурбинных установок. Например, в работе [3] создана концепция цифрового комплекса диагностики энергетического турбинного оборудования с использованием эталонной модели турбины, образованной совокупностью расчетных моделей тепловых и газодинамических процессов, экспертными системами диагностики, по функциональным стандартным характеристикам и статистическим моделям. В рамках исследования разработаны методы и алгоритмы диагностики характерных причин неисправностей различных подсистем энергетического оборудования, что позволит выявлять их на ранней стадии и предотвращать внеплановые (аварийные) отключения оборудования.

В работе [4] описана экспертная система вероятностного типа для диагностики и оценки состояния элементов технологических подсистем паровой турбины. Экспертная система основана на теореме Байеса и позволяет проводить диагностику узлов оборудования, используя экспертный

опыт, при недостатке исходной информации о показателях работы турбины. Экспертная система в рамках единого подхода решает задачи диагностирования проточного тракта турбины, подшипников, системы теплового расширения, системы регулирования, конденсационной установки, систем регенеративного питательного и водогрейного отопления.

В данной работе рассмотрены риски потери эффективности конденсатора, используя модель дерева отказов. Данная модель позволяет более наглядно проследить цепочку событий, приводящих к потерям эффективности.

Существуют несколько моделей дерева событий. Например, модель рисков турбины из-за дисбаланса моментов сил [5]. Или модель дерева отказов исследования опасности при хранении воспламеняющейся жидкости [6]. Для конденсаторов паровых турбин аналогичные модели не разработаны. Сложность современных технологических процессов, невозможность сразу охватить весь спектр явлений, способных приводить к аварийным ситуациям, делает целесообразным использование метода деревьев событий (деревьев отказов) для комплексного анализа устойчивости функционирования промышленной и экологической безопасности предприятий [6].

Материалы и методы

Модель основана на методе построения дерева событий, графическим способом отслеживания совокупности обстоятельств (сбоев системы и внешних воздействий), которые приводят к неблагоприятным результатам.

Модель реализована в Microsoft Excel.

Дерево событий рассматривает возможные пути развития последствий аварии (сценарий развития события). Все события, которые могут произойти после события, связаны причинно-следственной связью, в зависимости от работы или отказа элемента безопасности системы [6].

Данный метод дает возможность: определить сценарий развития аварии с разными последствиями от разных исходных событий; найти связь отказа системы с последствием аварии; определить начальные события для анализа дерева отказов.

Объектом исследования является конденсационная установка паровой турбины Т-110/120 АлЭС ТЭЦ-2.

Дерево событий конденсационной установки турбины Т-110/120 представляет совокупность неисправностей конденсатора, пароструйного эжектора, циркуляционного насоса, конденсатного насоса, циркуляционного тракта.

Алгоритм построения дерева событий конденсационной установки.

1 Определили главное событие Т – потеря эффективности конденсационной установки.

2 Определили промежуточные М и базовые события В.

3 Установили связь промежуточных и базовых событий при помощи условий «И» и «ИЛИ».

4 Проставили значения вероятностей появления промежуточных и базовых событий.

5 Определили вероятность возникновения главного события.

Графическое обозначение символов дерева событий представлено на рисунке 1.



Рисунок 1 – Набор символов

На рисунке 2 показано главное событие и промежуточные события, которые приводят к главному.

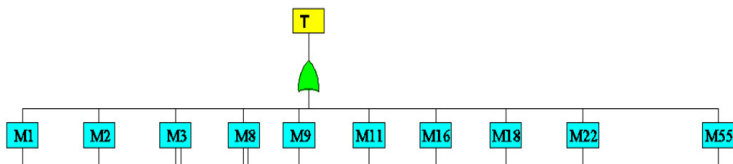


Рисунок 2 – Главное событие и промежуточные события, ведущие к главному событию

В таблице 1 приведен список промежуточных событий.

Таблица 1 – Список промежуточных событий

№	Наименование	Обозначение
1	Высокое гидравлическое сопротивление конденсатора	M1
2	Низкий расход охлаждающей воды	M2
3	Ухудшение вакуума	M3
4	Увеличение температурного напора	M8
5	Увеличение давления отработавшего пара	M9
6	Наличие кислорода в основном конденсате	M11

7	Высокая жесткость конденсата	M16
8	Переохлаждение конденсата	M18
9	Повышенный недогрев воды	M22
10	Неисправности в циркуляционном тракте	M55

Кроме неисправностей оборудования (конденсатора, эжектора, насосов) рассматривались еще факторы, организации правильной эксплуатации оборудования (таблица 2).

Таблица 2 – Факторы, организации правильной эксплуатации оборудования

№	Наименование	Обозначение
1	Не проведены своевременные профилактические чистки оборудования	M5
2	Отсутствие своевременного контроля за чистотой поверхности охлаждения и трубных досок	M6
3	Отсутствие своевременного контроля за расходом охлажденной воды	M7
4	Отсутствие документации по учету и отчетности	B1
5	Несоблюдение сроков, невыполнение в требуемых объемах технического обслуживания оборудования	B2
6	Неквалифицированный персонал	B3
7	Отсутствие своевременной проверки плотности вакуумной системы и ее уплотнения	B4
8	Нарушение производственных инструкций	B5
9	Отсутствие своевременного контроля солесодержания конденсата	M14
10	Отсутствие своевременной проверки содержания кислорода в конденсате после конденсатных насосов	M15

Переходим к самому дереву событий.

Результаты и обсуждение

Итак, мы задали главное событие, установили промежуточные и базовые события и связь между ними.

Рассмотрим развитие события M2: Низкий расход охлаждающей воды. На событие M2 влияют следующие события: занос трубных досок M4, не проведены своевременные профилактические чистки оборудования M5, отсутствие своевременного контроля за чистотой поверхности охлаждения и трубных досок M6, отсутствие своевременного контроля за расходом охлажденной воды M7, отсутствие документации по учету и отчетности B1, несоблюдение сроков, невыполнение в требуемых объемах технического обслуживания оборудования B2, неквалифицированный персонал B3 (рисунок 3).

Вероятность события M2 составляет 0,0000001 %.

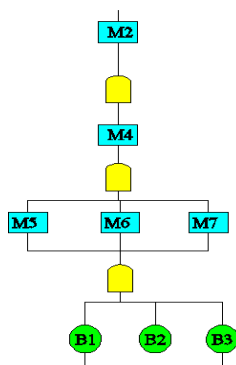


Рисунок 3 – Развитие события M2

Рассмотрим развитие события M34: неисправность циркуляционного насоса. На событие M34 влияют следующие события: повышенная вибрация корпуса насоса M44, насос не подает воду M45, колебания мощности электродвигателя M47, стуки и удары в насосе (металлический шум) M48, давление на выходе насоса пульсирует и не соответствует рабочему режиму M50, повышенная потребляемая мощность при соответствии подачи и давления насоса характеристике M51, пульсация давления и увеличение его сверх допустимого M52, подача значительно меньше расчетной по характеристике M53, перегрев электродвигателя M54, кавитация насоса B36, перегрузка электродвигателя M46, неправильное направление вращения электродвигателя B37, механические заедания лопастей насоса о поверхность камера рабочего колеса M49, несоблюдение сроков, невыполнение в требуемых объемах технического обслуживания оборудования B2, значительный износ торцов и лопастей рабочего колеса и камеры B38, малые зазоры между валом и вкладышами подшипников B39, повышенное гидравлическое сопротивление сети B40 (рисунок 4).

Вероятность события M34 составляет 37 %.

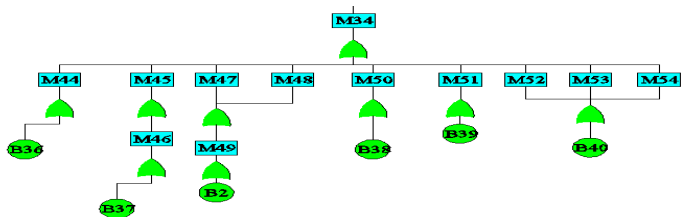


Рисунок 4 – Развитие события М34

После внесения значений вероятностей событий, можно рассчитать промежуточные события и главное событие. Расчет ведется снизу вверх.

При условии «ИЛИ» расчет ведется следующим образом:

$$P_A = P_B + P_C \quad 1$$

где P – вероятность;

B, C – входная пара;

A – выход.

При условии «И» расчет ведется следующим образом:

$$P_A = P_B \times P_C \quad 2$$

После соответствующий вычислений получаем значение главного события $T = 0,51$. Получается вероятность потери эффективности конденсационной установки составляет 51 %. Из них наибольшую опасность составляет неисправность конденсатного насоса, которая составляет 85 %.

На основе качественного и количественного анализа предложены следующие рекомендации:

- регулярно проводить профилактические чистки конденсатора, трубных досок, конденсаторных трубок, распределительных трубок;
- регулярно проводить профилактические чистки градирен;
- следить за содержанием кислорода в конденсате после конденсатных насосов;
- усилить контроль появления присосов воздуха на участке трубопровода от конденсатора до конденсатного насоса;
- наладить работу питательных и циркуляционных насосов.

Данная модель дерева событий является продолжением математических моделей конденсатора паровой турбины [7, 8], пароструйного эжектора [9, 10], диагностической модели конденсатора [11]. В работе [11] получено, что на давление пара в конденсаторе существенную роль играют загрязнения поверхностей теплообмена. Присосы воздуха же оказывают незначительное влияние.

Используя проведенный анализ методом дерева событий, можно проводить мониторинг и диагностику состояния оборудования конденсационной установки в целом с широким спектром неисправностей.

Данный анализ разработан для конденсационной установки паровой турбины Т-110/120 АлЭС ТЭЦ-2, но она также справедлива для любой другой конденсационной установки. Нужно изменить лишь значения вероятностей событий.

Даная модель дерева событий отличается от диагностических моделей [3, 4] тем, что она проста, наглядно показывает влияние неисправности на главное событие.

Выводы

Построена модель дерева событий конденсационной установки. Объектом исследования является конденсационная установка паротурбинной установки АлЭС ТЭЦ-2. Задали главное событие Т – потеря эффективности конденсационной установки, промежуточные М и базовые события В, ведущие к главному событию, установили связь.

Дерево событий конденсационной установки включает неисправности конденсатора, пароструйного эжектора, циркуляционного и конденсатного насосов, циркуляционного тракта. В результате просчетов вероятностей получено, что вероятность потери эффективности конденсационной установки составляет 51 %.

По результатам анализа даны рекомендации эксплуатационному персоналу: регулярно проводить профилактические чистки конденсатора, трубных досок, конденсаторных трубок, распределительных трубок, градирен; следить за содержанием кислорода в конденсате после конденсатных насосов; усилить контроль появления присосов воздуха на участке трубопровода от конденсатора до конденсатного насоса; наладить работу питательных и циркуляционных насосов.

Данную модель можно использовать на производстве для диагностики и мониторинга состояния оборудования, при проведении энергетического аудита, в учебной части.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Методические указания по эксплуатации конденсационных установок паровых турбин электростанций [Текст] : РД 34.30.501 (МУ 34–70–122–85): утв. Главным техническим управлением по эксплуатации энергосистем 04.06.85 г. : введ. в действие с 01.07.1986

2 **Мурманский, И. Б.** Совершенствование многоступенчатых пароструйных эжекторов конденсационных установок паровых турбин

[Текст] : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук : 05.04.12 – Турбомашини и комбинированные турбоустановки : защищена 25.06.2018 : утв. 15.12.2018 / Мурманский Илья Борисович. – Екатеринбург, 2018. – 176 с. – Библиогр. : с. 146-157.

3 **Murmansky, I. B., Aronson, K. E., Blinov, V. L., Zhelonkin, N. V. and Murmansky, B. E.** Digital diagnostic complex for power turbine units equipment [Text] // IOP Conf. Series : Materials Science and Engineering. – 643. – 2019. – pp. 222-230 doi:10.1088/1757-899X/643/1/012109

4 **Murmansky, B. E., Aronson K. E., Brodov, Yu. M.** An expert system for diagnostics and estimation of steam turbine components condition [Text] // IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series. – 891. – 2017. – pp. 231–238 doi:10.1088/1742–6596/891/1/012279

5 **Белов, П. Г.** Управление рисками, системный анализ и моделирование [Текст]. В 3 ч. Часть 3 : учебник и практикум для бакалавриата и магистратуры / П.Г. Белов. – М. : Издательство Юрайт, 2019. – 272 с.

6 URL: <https://docplayer.com/52375052-Metodika-ocenki-riska-metod-obsledovaniya-tipov-otkazov-i-analiz-ih-posledstviy.html> (дата обращения: 25.04.2022).

7 **Шавдинова, М.** Методики расчета конденсатора паровой турбины [Текст] / М. Д. Шавдинова, Н. Г. Борисова // Вестник Торайгыров университета. Энергетическая серия. – Павлодар. – 2021. – №2. – с. 209–218. – Библиогр. : с. 213.

8 **Shavdinova, M.** Development of condenser mathematical model for research and development of ways to improve its efficiency [Text] / M. Shavdinova, K. Aronson, N. Borissova // Journal of Applied Engineering Science (JAES). – 2020. – Volume 18. - №4. – pp. 577–585.

9 **Шавдинова, М. Д.** Разработка математической модели пароструйного эжектора конденсационной установки [Текст] / М. Д. Шавдинова, Н. Г. Борисова // Вестник Торайгыров университета. Энергетическая серия. – Павлодар. – 2021. - №1 – с. 307-316. – Библиогр. : с. 313.

10 **Shavdinova, M.** Enhancement of steam-turbine condenser steam-jet ejector [Text] / M. Shavdinova, R. Sharipov, T. Meshherjakova // Eurasian Physical Technical Journal. – 2021. – Vol.18. - №4 (38). – pp. 52–58.

11 **Шавдинова, М. Д.** Диагностическая модель конденсатора [Текст] / М. Д. Шавдинова, Н. Г. Борисова // НАО «Карагандинский технический университет». Труды университета. – 2022. –№1. – с. 287–291. – Библиогр. : с. 289.

REFERENCES

1 Metodicheskiye ukazaniya po ekspluatatsii kondensatsionnykh ustanovok parovykh turbin elektrostantsiy [Text] : RD 34.30.501 (MU 34-70-122-85) [Guidelines for the operation of condensing units of steam turbines of power plants] : utv. Glavnym tekhnicheskim upravleniyem po ekspluatatsii energosistem 04.06.85 g. : vvod. v deystviye s 01.07.1986 [approved by the Main Technical Directorate for the Operation of Energy Systems on 04.06.85: input. into effect from 01.07.1986]

2 **Murmansky, I. B.** Sovershenstvovaniye mnogostupenchatykh parostruynykh ezhektorov kondensatsionnykh ustanovok parovykh turbin [Text]: dissertatsiya na soiskaniye uchenoy stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk : 05.04.12 – Turbomashiny i kombinirovannyye turboustanovki : zashchishchena 25.06.2018 : utv. 15.12.2018 / Murmanskii Il'ya Borisovich [Improvement of multistage steam jet ejectors of condensing units of steam turbines [Text]: thesis for the degree of candidate of technical sciences: 04/05/12 – Turbomachines and combined turbine plants: defended 06/25/2018: approved. 12/15/2018 / Murmansky Ilya Borisovich] – Yekaterinburg. – 2018. – P. 49–50.

3 **Murmansky, I. B., Aronson, K. E., Blinov, V. L., Zhelonkin, N. V. and Murmansky, B. E.** Digital diagnostic complex for power turbine units equipment [Text] // IOP Conf. Series : Materials Science and Engineering. – 643. – 2019. – P. 222–230 doi:10.1088/1757-899X/643/1/012109

4 **Murmansky, B. E., Aronson K. E., Brodov, Yu. M.** An expert system for diagnostics and estimation of steam turbine components condition [Text] // IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series. – 891. – 2017. – P. 231–238 doi:10.1088/1742-6596/891/1/012279

5 **Belov, P. G.** Upravleniye riskami, sistemnyy analiz i modelirovaniye [Text]. V 3 ch. Chast' 3 : uchebnik i praktikum dlya bakalavriata i magistratury / P.G. Belov. [Risk management, system analysis and modeling. At 3 pm Part 3: textbook and workshop for undergraduate and graduate students] – M.: Izdatel'stvo Yurayt. – 2019. – 272 p.

6 URL: <https://docplayer.com/52375052-Metodika-ocenki-riska-metod-obsledovaniya-tipov-otkazov-i-analiz-ih-posledstviy.html> [Elektronik resource](date of access: 04/25/2022).

7 **Shavdinova, M. D.** Metodiki rascheta kondensatora parovoy turbiny [Text] / M. D. Shavdinova, N. G. Borissova [Methods for calculating the condenser of a steam turbine] // Vestnik Toraygyrov universiteta. Energeticheskaya seriya [Bulletin of Toraygyrov University. Energy series]. – Pavlodar. – 2021. – №2. – P. 209–218. – Bibliogr. : P. 213.

8 **Shavdinova, M.** Development of condenser mathematical model for research and development of ways to improve its efficiency [Text] / M. Shavdinova,

K. Aronson, N. Borissova // Journal of Applied Engineering Science (JAES). – 2020. – Volume 18. – №4. – P. 577–585

9 **Shavdinova, M. D.** Razrabotka matematicheskoy modeli parostruynogo ezhektora kondensatsionnoy ustanovki [Text] / M. D. Shavdinova, N. G. Borissova [Development of a mathematical model of a steam-jet ejector of a condensing unit] // Vestnik Toraygyrov universiteta. Energeticheskaya seriya [Bulletin of Toraygyrov University. Energy series]. – Pavlodar. – 2021. – №1. – P. 307–316. –Bibliogr. : p. 313.

10 **Shavdinova, M.** Enhancement of steam-turbine condenser steam-jet ejector [Text] / M. Shavdinova, R. Sharipov, T. Meshherjakova // Eurasian Physical Technical Journal. – 2021. – Vol.18. – №4 (38). – P. 52–58.

11 **Shavdinova, M. D.** Diagnosticheskaya model' kondensatora [Text] / M. D. Shavdinova, N. G. Borissova [Diagnostic model of the capacitor]. NAO «Karagandinskiy tekhnicheskii universitet». Trudy universiteta [NJSC «Karaganda Technical University». Proceedings of the University]. – 2022. – №1. – pp. 287–291 – Bibliogr. : p. 289.

Материал поступил в редакцию 13.06.22.

М. Д. Шавдинова¹, Н. Г. Борисова²

¹Қазақстан-Неміс университеті, Қазақстан Республикасы, Алматы қ;

²Ғұмарбек Даукеев атындағы Алматы энергетика және коммуникациялар университеті, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.

Материал баспаға 13.06.22 түсті.

БУ ТУРБИНАСЫН КОНДЕНСАТТЫРУ СТАНДАРТЫНЫҢ ОҚИҒАЛАР АҒАШЫНЫҢ МОДЕЛІ

Жұмыста энергетикалық жабдықтың бар диагностикалық кешендері талданады. АлЭС ЖЭО-2 Т-110/120 бу турбиналық конденсациялау қондырғысының оқиғалар ағашының үлгісі ұсынылды. Оқиғалар ағашының үлгісі – конденсациялық блоктағы ақауларды бақылаудың графикалық жолы. Модель әртүрлі басталу оқиғаларының әртүрлі салдары бар апаттың даму сценарийін анықтауға мүмкіндік береді. Оқиғалар ағашының құрылымы негізгі оқиғадан – конденсациялық блоктың тиімділігін жоғалтудан, аралық және негізгі оқиғалардан, негізгі оқиғаға әсер ететін белгіленген оқиғалар байланыстарынан тұрады. Бу турбинасын конденсациялау қондырғысының оқиға ағашының үлгісі конденсатордың, бу ағынының эжекторының, конденсат сорғысының, айналым сорғысының және

айналым жолының ақауларын қамтиды. Бірнеше оқигалардың дамуы қарастырылады. Бұған қоса, оқигалар тармағы жұмыс деңгейіне байланысты ақауларды қамтиды. Конденсациялау қондырғысының ПӘК-нің жоғалу ықтималдығы 51 % болатыны анықталды. Ең үлкен қауіп конденсат сорғысының дұрыс жұмыс істемейуі болып табылады, оның ықтималдығы 85 % құрайды. Пайдаланушы персоналға ұсыныстар ұсынылады, олардың негізгілері конденсатор түтіктерін, градирняларды жүйелі түрде профилактикалық тазалау; ауа соруын бақылау; қоректік және циркуляциялық сорғылардың жұмысын реттеу және т.б. Конденсациялау қондырғысының оқиға ағашының моделін виртуалды зертханалық жұмыстарды орындау кезінде өндірісте де, жылу энергетикасы мамандарын оқыту процесінде де қолдануға болады.

Кілтті сөздер: оқиға ағашы, конденсаторлық қондырғы, бу ағынының әжекторы, циркуляциялық сорғы, конденсат сорғысы, ақаулар.

*M. Shavdinova¹, N. Borissova²

¹EI «Kazakhstan-German University», Republic of Kazakhstan, Almaty;

² Almaty University of Power Engineering and Communications named after Gumarbek Daukeev, Republic of Kazakhstan, Almaty.

Material received on 13.06.22

EVENT TREE MODEL OF A STEAM TURBINE CONDENSING PLANT

The paper analyzes the existing diagnostic complexes of power equipment. A model of the tree of events for the T-110/120 steam turbine condensing unit of AIES CHPP-2 is proposed. The event tree model is a graphical way to track faults in a condensing unit. The model makes it possible to determine the scenario for the development of an accident with different consequences from different initiating events. The structure of the event tree consists of the main event the loss of efficiency of the condensing unit, intermediate and basic events, established event links that affect the main event. The event tree model of a steam turbine condensing unit includes failures of the condenser, steam jet ejector, condensate pump, circulation pump, and circulation path. The developments of several events are considered. In addition, the event tree includes faults associated with the operating level. It was found that the probability of loss of efficiency of the condensing unit is 51 %. It has been established that the greatest danger is the malfunction of the condensate pump, the probability of which

is 85 %. Recommendations for operating personnel are proposed, the main of which are regular preventive cleaning of condenser tubes, cooling towers; control air suction; adjust the operation of nutrient and circulation pumps, etc. The event tree model of a condensing plant can be used both in production and in the process of training thermal power specialists when performing virtual laboratory work.

Keywords: event tree, condensing unit, steam jet ejector, circulation pump, condensate pump, faults.

Теруге 13.06.2022 ж. жіберілді. Басуға 30.06.2022 ж. қол қойылды.

Электронды баспа

16,6 Мб RAM

Шартты баспа табағы 23.88. Таралымы 300 дана. Бағасы келісім бойынша.

Компьютерде беттеген: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова

Тапсырыс № 3958

Сдано в набор 13.06.2022 г. Подписано в печать 30.06.2022 г.

Электронное издание

16,6 Мб RAM

Усл. печ. л. 23.71. Тираж 300 экз. Цена договорная.

Компьютерная верстка: А. К. Мыржикова

Корректор: А. Р. Омарова

Заказ № 3958

«Toraighyrov University» баспасынан басылып шығарылған

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

«Toraighyrov University» баспасы

Торайғыров университеті

140008, Павлодар қ., Ломов к., 64, 137 каб.

67-36-69

E-mail: kereku@tou.edu.kz

www.vestnik-energy.tou.edu.kz