

Том 5. Часть 3. – Уфа: Уфимский государственный авиационный технический университет, 2020. – С. 35. – EDN RZXVKG.

6. О методах оценки временных ресурсов программных проектов / М. А. Верхотуров, Г. Н. Верхотурова, О. М. Верхотурова, А. Н. Иванова // Перспективные информационные технологии (ПИТ 2020): Труды Международной научно-технической конференции, Самара, 21–22 апреля 2020 года / Под редакцией С.А. Прохорова. – Самара: Самарский научный центр РАН, 2020. – С. 342-346. – EDN WWSOXQ.

УДК 004.378.14

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОВЕДЕНИЯ ОБУЧАЮЩИХ МЕРОПРИЯТИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЕТЕЙ ПЕТРИ

MODELING TRAINING EVENTS CONDUCT APPLIED USE OF PETRI NETS

Салова М.С., Гвоздева Т.В.,
ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет
имени В.И. Ленина», г. Иваново, Российская Федерация

M.S. Salova, T.V. Gvozdeva,
State Educational Institution of Higher Professional Education Ivanovo State
Power University named after V.I. Lenin, Ivanovo, Russian Federation

e-mail: salovamargari@yandex.ru

Аннотация. В ходе проведения исследования были рассмотрены основные принципы действий, цели и методы группы ОПАС – отдел АО «Концерн Росэнергоатом», ответственный за обеспечение безопасности, конкретно – за создание методик реагирования во время чрезвычайных ситуаций и оттачивание порядка действий сотрудников при реагировании. Особенно важно выделить наличие регламента – упорядоченного множества действий каждого ключевого сотрудника с ограничением по времени и результатам. Для поддержки квалификации и слаженной работы экспертов, разрабатывающих рекомендации по реагированию (экспертная часть группы ОПАС) за счет выполнения поставленных задач при сформированных данных, проводятся тренировки и учения. Для создания информационно-коммуникационной среды организации и контроля обучающих мероприятий необходимо структурировать ограничения, упомянутые в регламенте, и разработать концепцию взаимодействия сотрудников с определением времени

и последовательности с возможным дальнейшим применением полученных результатов в программном виде. С помощью сетей Петри была сформирована математическая модель, в содержании которой есть этапы мероприятия и динамическое описание их прохождения ключевыми сотрудниками. Её ценность для данной области заключается в том, что она строго формализует действия хаотичного характера и позволяет отслеживать прогресс проведения мероприятия.

Annotation. During the researching, the main principles, goals, and methods of the rapid response group for nuclear power plants – a department of "Concern Rosenergoatom" JSC responsible for security, specifically for creating response methodologies during emergencies and refining employee response procedures – were examined. It is especially important to highlight the existence of a schedule – an ordered set of actions for each key employee with a time limit and results. To support the qualification and coordinated work of experts who develop recommendations for response (the expert part of the rapid response group for nuclear power plants) by completing tasks with the generated data, training and exercises are conducted. To create the information and communication environment for organizing and monitoring educational events, it is necessary to structure the constraints mentioned in the protocol and develop a concept for employee interaction, including time and sequence determination, with potential further application of the obtained results in the software form. A mathematical model was developed using Petri nets, containing stages of events and a dynamic description of their progression by key employees. Its value for this field lies in the fact that it strictly formalizes actions of a chaotic nature and allows you to track the progress of the event.

Ключевые слова: математическая модель, сети Петри, группа ОПАС.

Keywords: mathematical model, Petrinets, rapid response group for nuclear power plants.

Акционерное общество "Концерн «Росэнергоатом»" является важной российской энергетической компанией, специализирующейся на эксплуатации и управлении атомными электростанциями. После катастрофы на Чернобыльской атомной станции в 1986 году, было принято решение о разработке и внедрении дополнительных систем безопасности, способных эффективно справляться с чрезвычайными ситуациями и гарантировать безопасность атомных электростанций.

Кризисный центр является основным информационным и управляющим элементом в системе предупреждения и ликвидации

чрезвычайных ситуаций на АЭС. Его основная задача заключается в наблюдении и оценке готовности систем безопасности атомных электростанций и обеспечении условий для работы группы оказания экстренной помощи атомным станциям (ОПАС). Кроме того, Кризисный центр организует регулярные тренировки и учения на атомных станциях с целью поддержания механизма реагирования в случае аварии. Эти обучающие мероприятия способствуют поддержанию высокой готовности сотрудников АЭС к оперативным действиям по предотвращению и ликвидации чрезвычайных и нештатных ситуаций [2].

Всего существует три типа мероприятий:

1. Учение – обучающее мероприятие, направленное на первичное формирование рекомендаций по реагированию на ЧС, обладает концептуальным характером.

2. Тренировка – обучающее мероприятие, в ходе которого выведенные ранее рекомендации обрабатываются в соответствии с уточненными условиями и задачами.

3. Аварийное реагирование подразумевает непосредственное оказание помощи атомным электростанциям с использованием доработанных рекомендаций.

Для анализа мероприятий и их регламентов были изучены следующие организационно-распорядительные документы:

1. МР 1.1.4.04.1414-2018 «Подготовка, проведение и анализ результатов противоправных тренировок с участием атомных станций, группы ОПАС и Центров технической поддержки».

2. МР 1.1.4.04.1757-2020 «Основные действия руководства и персонала при предаварийной ситуации и аварии на атомных станциях АО «Концерн Росэнерго-атом». Методические рекомендации».

3. РГ 1.1.3.21.1332-2017 «Информационный обмен между участниками регионального Кризисного центра Московского центра ВАО АЭС. Регламент».

4. РГ 1.1.3.21.1376-2017 «Функционирование группы оказания экстренной помощи атомным станциям в случае радиационно опасных ситуаций (ОПАС). Регламент».

На проведение мероприятия влияют многие сотрудники, однако для большинства из них постановка задач происходит непосредственно во время процесса осуществления деятельности. Поэтому при формировании модели выделены ключевые лица, деятельность которых можно регламентировать точно и однозначно:

- Руководитель группы ОПАС;
- руководитель экспертной группы по радиационной безопасности и мерам защиты;

– руководители экспертных групп по контролю состояний реакторных установок (ВВЭР, КР и БН).

При описании деятельности участников мероприятия были выделены следующие признаки: у каждого ключевого лица есть упорядоченное, параметризованное (временной показатель) множество действий, некоторые из них происходят при участии всех трёх лиц, некоторые – двух конкретных, остальные – одиночные.

Для моделирования подобного используют методы графа, матрицы, дерева, списка и сети. Описание деятельности требует комплексный подход нескольких методов, что реализовано в сетевом планировании и сетях Петри.

Первый комплексный метод сосредоточен на оптимизации процессов, что не соответствует текущим целям – важнее структурировать деятельность, упрощать и сокращать регламентированные действия нельзя. Поэтому был выбран метод «Сети Петри».

Сеть Петри – совокупность множеств $C = \{P, T, I, O\}$,

где:

- P – конечное множество, элементы – позиции;
- T – конечное множество, элементы – переходы, $P \cap T = \emptyset$;
- I – множество входных функций, $I: T \rightarrow P$;
- O – множество выходных функций, $O: P \rightarrow T$.

Метод изображения Сетей Петри – граф, где позиции отображены окружностями, переходы – вертикальными закрашенными прямоугольниками. Для программного считывания позиций ключевых лиц (меток, токенов) существует маркировка сети μ – целочисленный вектор, числа которого отображают, в какой позиции сколько токенов находится [1]. В данном случае векторы содержат не только количество меток, но и указание на конкретного сотрудника.

При моделировании было принято разбить мероприятие на следующие 5 этапов:

- подготовка мероприятия;
- сбор данных о состоянии АЭС со специалистов (начальник смены Кризисного центра, руководитель группы аварийных работ, центр технической поддержки, Ситуационный Кризисный центр);
- присваивание оценки и НЕТ классификации по НП044 08.
- выведение рекомендаций по реагированию;
- выведение рекомендаций по защите населения.

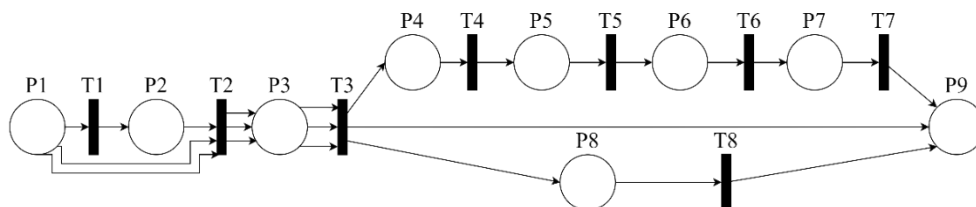


Рисунок 1. Первый этап мероприятия

Таблица 1. Пояснения к рисунку 1

| Pi и Ti | Обозначение |
|---------|---|
| P1 | Штатный режим работы |
| T1 | Получена информация от НС КЦ |
| P2 | Режим КЦ: аварийное реагирование, тренировка или учение |
| T2 | Группа ОПАС оповещена о сборе |
| P3 | Общий сбор группы ОПАС |
| T3 | Группа ОПАС в сборе |
| P4 | Получение доклада от РАР на АЭС |
| T4 | Получен доклад от РАР на АЭС |
| P5 | Получение документов от ФГ обеспечения и функционирования |
| T5 | Получены документы от ФГ обеспечения и функционирования |
| P6 | Подключение ВКС |
| T6 | Подключена ВКС |
| P7 | Выдача задач ФГ обеспечения и функционирования |
| T7 | Выданы задачи ФГ обеспечения и функционирования |
| P8 | Получение технологических характеристик АЭС |
| T8 | Получены технологические характеристики АЭС |
| P9 | Начало доклада от НС КЦ |

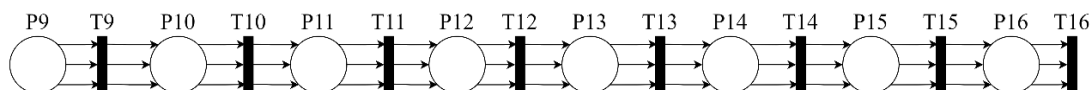


Рисунок 2. Второй этап мероприятия

Таблица 2. Пояснения к рисунку 2

| Pi и Ti | Обозначение |
|---------|---------------------------|
| T9 | Доклад завершен |
| P10 | Конец доклада от НС КЦ |
| T10 | Следующий докладчик готов |
| P11 | Начало доклада от РАР |
| T11 | Доклад завершен |
| P12 | Конец доклада от РАР |
| T12 | Следующий докладчик готов |
| P13 | Начало доклада от ЦТП |
| T13 | Доклад завершен |
| P14 | Конец доклада от ЦТП |
| T14 | Следующий докладчик готов |
| P15 | Начало доклада от СКЦ |
| T15 | Доклад завершен |
| P16 | Конец доклада от СКЦ |
| T16 | Все доклады завершены |

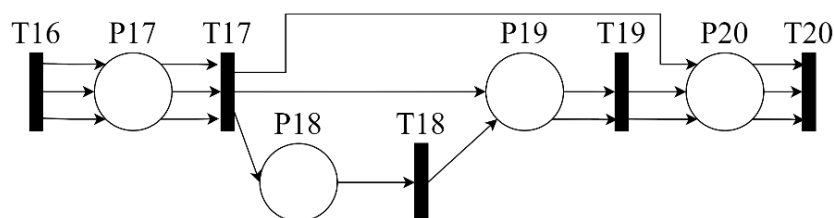


Рисунок 3. Третий этап мероприятия

Таблица 3. Пояснения к рисунку 3

| Pi и Ti | Обозначение |
|---------|---|
| P17 | Выдача задач ЭГ |
| T17 | Задачи выданы ЭГ |
| P18 | Первичный прогноз развития аварии |
| T18 | Осуществлен первичный прогноз развития аварии |
| P19 | Подготовка предложений по оценке событий по ИНЕС и классификации по НП 044 08 |
| T19 | Осуществлена оценка по ИНЕС и классификация по НП 044 08 |
| P20 | Обобщение оценки по ИНЕС и классификации по НП 044 08 |
| T20 | Осуществлена обобщающая оценка по ИНЕС и классификация по НП 044 08 |

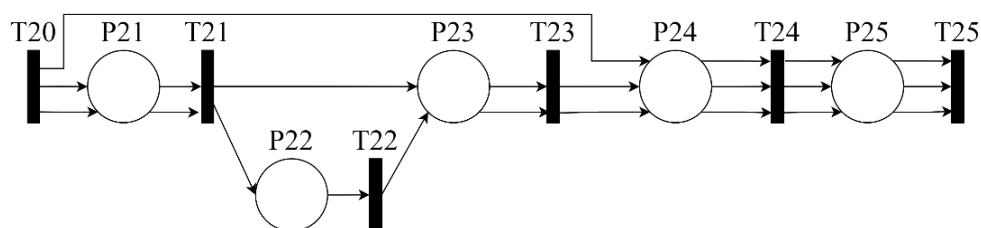


Рисунок 4. Четвертый этап мероприятия

Таблица 4. Пояснения к рисунку 4

| Pi и Ti | Обозначение |
|---------|--|
| P21 | Передача технологических характеристик АЭС |
| T21 | Переданы технологические характеристики АЭС |
| P22 | Осуществление окончательного прогноза развития аварии |
| T22 | Осуществлен окончательный прогноз развития аварии |
| P23 | Выведение рекомендаций по реагированию для РА и ФГ на АЭС |
| T23 | Выведены рекомендации по реагированию для РА и ФГ на АЭС |
| P24 | Согласование рекомендаций по реагированию для РА и ФГ на АЭС |
| T24 | Рекомендации по реагированию для РА и ФГ на АЭС согласованы |
| P25 | Передача рекомендаций по реагированию РА и ФГ на АЭС |
| T25 | Рекомендации по реагированию для РА и ФГ на АЭС переданы |

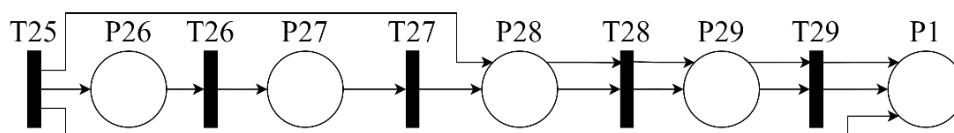


Рисунок 5. Пятый этап мероприятия

Таблица 5. Пояснения к рисунку 5

| Pi и Ti | Обозначение |
|----------------|---|
| T25 | Рекомендации по реагированию для РАР и ФГ на АЭС переданы |
| P26 | Осуществление прогноза радиационных последствий |
| T26 | Осуществлен прогноз радиационных последствий |
| P27 | Выведение рекомендаций по защите населения |
| T27 | Выведены рекомендации по защите населения |
| P28 | Согласование рекомендаций по защите населения |
| T28 | Согласованы рекомендации по защите населения |
| P29 | Передача рекомендаций по защите населения РАР и ФГ на АЭС |
| T29 | Рекомендации по защите населения переданы РАР и ФГ на АЭС |
| P1 | Штатный режим работы |

Далее в таблицах отображены ненулевые участки векторов маркировки μ , где:

- если все три ключевых сотрудника находятся на позиции, их обозначить цифрой 3 (в программном варианте может измениться);
- при участии одного сотрудника указывается его переменная (RG – руководитель группы ОПАС, RU – руководители ЭГ по РУ, RB);
- руководитель ЭГ по РБ и МЗ);
- при участии двух сотрудников они указываются по порядку разделителем «|» (RG|RU, RG|RB, RU|RB).

Таблица 6. Изменение вектора μ на первом этапе

| Ti | μ_i | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 | P9 |
|----|---------|-------|----|----|----|----|----|----|----|-------|
| - | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| T1 | 1 | RU RB | RG | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| T2 | 2 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| T3 | 3 | 0 | 0 | 0 | RG | 0 | 0 | 0 | RU | RB |
| T4 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | RG | 0 | 0 | RU | RB |
| T5 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | RG | 0 | RU | RB |
| T6 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | RG | RU | RB |
| T7 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | RU | RG RB |

Таблица 7..Изменение вектора μ на втором и третьем этапе

| Ti | μ_i | P9 | P10 | P11 | P12 | P13 | P14 | P15 | P16 | P17 | P18 | P19 | P20 |
|-----|---------|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|-----|
| T8 | 8 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| T9 | 9 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| T10 | 10 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| T11 | 11 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| T12 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| T13 | 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| T14 | 14 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| T15 | 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| T16 | 16 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 |
| T17 | 17 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | RU | RB | RG |
| T18 | 18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | RU RB | RG |
| T19 | 19 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |

Таблица 8. Изменения вектора μ на четвертом и пятом этапах

| Ti | μ_i | P21 | P22 | P23 | P24 | P25 | P26 | P27 | P28 | P29 | P1 |
|-----|---------|-------|-----|-------|-----|-----|-----|-----|-------|-------|----|
| T20 | 20 | RU RB | 0 | 0 | RG | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| T21 | 21 | 0 | RU | RB | RG | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| T22 | 22 | 0 | 0 | RU RB | RG | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| T23 | 23 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| T24 | 24 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| T25 | 25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | RB | 0 | RG | 0 | RU |
| T26 | 26 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | RB | RG | 0 | RU |
| T27 | 27 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | RG RB | 0 | RU |
| T28 | 28 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | RG RB | RU |
| T29 | 29 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |

Таким образом, были выведены матрицы векторов маркировок сети, с помощью которых можно проследить, на каком этапе какие ключевые лица задействованы. Полученная модель может быть использована для четкого выделения этапов мероприятия, отслеживания прогресса его проведения, степени задействования и влияния сотрудников на деятельность друг друга и в целом.

Выводы

В ходе проведения исследования была сформирована модель, которая помогает решить проблему структурирования этапов проведения мероприятия для создания возможности отслеживания их выполнения ключевыми сотрудниками и оценки реальнопроделанной работы на предмет соответствия регламентному списку действий.

Литература

1. Кудж, С.А. Моделирование с использованием сетей Петри / С.А. Кудж, А.С. Логинова // Вестник МГТУ МИРЭА. – 2015. – №16. – С.10-22.
2. Официальный сайт АО "Концерн Росэнергоатом" – вкладка "О Концерне": сайт.–URL: <https://www.rosenergoatom.ru/about/> (дата обращения: 21.06.2023)