

МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ АНАЛИЗА ВЗАИМОСВЯЗАННЫХ СЕТЕВЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ ИНФРАСТРУКТУР ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Гребенюк Г.Г., Никишов С.М., Серeda Л.А., Рошин А.А.

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН,

Россия, г. Москва ул. Профсоюзная д.65

grebenuk@lab49.ru, nikishov@lab49.ru, sereda@lab49.ru, rochinaa@mail.ru

Аннотация: Для решения задач безопасности и уязвимости инженерных систем зданий и сооружений рассматриваются модели и алгоритмы анализа совместной работы сетевых инженерных систем, представленных в виде графа, особенности их функциональных связей, методы поиска критических объектов, наиболее важных для функционирования каждого вида сетей и системы инженерного обеспечения в целом.

Ключевые слова: безопасность, уязвимость, модель анализа ущерба, критически важные элементы сетей.

Введение

Объекты капитального строительства (ОКС) – офисные здания, спортивные сооружения, торговые центры, научно – производственные комплексы, гостиницы и жилые здания – наполнены инженерными сетями электро-, водо-, тепло-, газо- и других видов снабжения, обеспечивающими выполнение функционального предназначения этих объектов. Большое скопление людей на таких объектах и значительная стоимость активов определяют важную роль методов анализа совместной работы взаимосвязанных инженерных сетей и состояния технической безопасности. Эти методы должны соответствовать новому уровню технологий инженерных сетей для современных строений и сооружений, сложность и взаимовлияния которых значительно увеличились в последнее десятилетие за счет автоматизации и информатизации производственных процессов, процессов управления и обслуживания клиентов, внедрения энергосберегающих технологий и т.д.

Использование методов анализа взаимосвязанных инженерных сетей и технической безопасности особенно важно для стареющих инфраструктур, оборудование которых вырабатывает или превышает установленный срок службы. Из-за ограниченности средств на ремонты часто возникает задача выбора приоритетных объектов, отказ которых вызовет наихудшие последствия с учетом возможного каскадного эффекта, как внутри данной сети, так и при распространении на другие виды сетей. Для такого выбора эффективен метод сценарного моделирования взаимодействий и оценки ущерба с использованием входо-выходной модели, производной от экономической модели В. Леонтьева.

1 Виды инфраструктур объектов капитального строительства

В ОКС присутствуют следующие виды инфраструктур: кибернетическая, киберфизическая, физическая, географическая и логическая.

Киберинфраструктура возникает при передаче и обработке информации. Она оказывает существенное влияние на работу всех инженерных систем современных ОКС. Киберинфраструктура, основанная на информационно-коммуникационных технологиях (ИТ), включает проводные и беспроводные линии связи, маршрутизаторы, серверы и др. Физическая инфраструктура основана на физическом уровне взаимодействия различных систем (например, прекращение электроснабжения вызывает отключение электронасосов и сбой водоснабжения и т.д.) и состоит из соответствующих подсистем (водоснабжения, газоснабжения, теплоснабжения и т.д.).

Киберинфраструктура входит в состав киберфизической системы (CPS), к которой относятся системы диспетчерского контроля и управления, системы защиты электрических устройств, умные сети зданий, измерительные приборы и которая отличается развитыми связями между

вычислительными и физическими элементами. В ней часто используется архитектура, присущая интернету вещей.

Географическая зависимость для ОКС может быть определена как пространственная зависимость и связана с влиянием друг на друга близкорасположенных объектов разных систем. Например, протечка трубы, расположенной на верхнем этаже, может вызвать короткое замыкание электрического устройства этажом ниже.

Логическая зависимость возникает в результате логического анализа измерений, событий и др. Например, такая зависимость прослеживается в управлении диспетчером инженерными системами на основании показаний приборов.

Для вышеперечисленных инфраструктур ОКС характерны сбои, вызванные отказами, ошибками или преднамеренными действиями (атаками). Широкую известность приобрели хакерские атаки на инфраструктуру IT. Им подвержены объекты дистанционного управления и мониторинга промышленности и торговли, умные сети зданий. Последние часто используют слабо защищенные стандарты сетей передачи данных типа X10.

Каждая физическая инженерная инфраструктура ОКС является системой, в которой имеются источники, сеть и потребители. Источниками являются вводы в здание или автономные источники, независимые от внешней сети.

2 Особенности анализа последствий отказа в инженерных инфраструктурах зданий и сооружений

Как правило, взаимодействие «плоских» сетевых инфраструктур представляют в виде набора расположенных друг над другом слоев, каждый из которых содержит топологию одной инфраструктуры, а связи между слоями определяют взаимодействие между компонентами разных инфраструктур. Создание многослойной модели для зданий и сооружений существенно отличается от модели «плоских» сетевых инфраструктур для территории.

К особенностям таких моделей можно отнести многообразие инженерных систем, расположение коммуникаций этих систем на разных уровнях (этажах), их взаимосвязь как в пределах этажей, так и между этажами. Часто такие модели представляют собой территориально распределенные комплексы, содержащие коммуникации нескольких многоэтажных зданий и прилегающих к ним территорий.

3 Особенности формирования функциональных связей между инфраструктурами

При распространении возмущения между разными инфраструктурами будем рассматривать функциональную взаимосвязанность сетей, которая возникает, когда результат выполнения функций одной из сетей зависит от исправности другой сети [1].

Для модели распространения возмущения в системе, рассматриваемой как «система систем», рассмотрим в каждой инженерной подсистеме три набора объектов: источники ресурса, преобразователи и коммуникации, потребители ресурса.

Рассматривая функциональное взаимодействие подсистем электроснабжения, горячего (ГВС) и холодного водоснабжения здания (ХВС), мы видим, что, например, преобразователи в системах ГВС и ХВС одновременно являются потребителями в подсистеме электроснабжения и т.д.

4 Модель анализа ущерба

Анализ взаимосвязанных сетевых инженерных инфраструктур зданий и сооружений необходим для обеспечения техногенной безопасности и планирования ремонтов. Для этого необходима информация о критических объектах инфраструктур, наиболее важных для функционирования каждой инфраструктуры и всей системы обеспечения в целом.

Методом, показавшим свою эффективность для анализа взаимодействующих сетей, является метод сценарного моделирования с оценкой ущерба на основе входе-выходной модели, производной от экономической модели В. Леонтьева.

Метод сценарного моделирования на основе входе-выходной модели позволяет определить накопленную недееспособность системы после появления отказа. То есть, для каждого сценария эти модели определяют сокращение возможностей (накопление ущерба) на определенных, отдельных узлах сети.

5 Распространение последствий отказа по системе

После определения элементов, являющихся критически важными для работы системы необходимо проверить работу различных взаимосвязанных структур при появлении неработоспособности у таких элементов.

Анализ распространения последствий отказа по системе весьма важен для сложных взаимозависимых инфраструктур. Он позволяет объяснить динамику распространения последствий повреждения по различным инфраструктурам и предпринять меры по их защите.

Авторами использованы эффективные методы поиска на графах, которые определяют распространение последствий отказа внутри каждой инфраструктуры, и разработана программа – диспетчер, определяющая переходы через узлы сопряжения между инфраструктурами [2].

В этих методах использованы различные подходы к исследованию негативных последствий отказов для гетерогенных инфраструктур, такие как:

1. Метод перебора.

2. Метод построения и комплексирования минимальных сечений для сетей разных видов ресурсов [1].

6 Выбор способа представления последствий отказа на принципиальной схеме и поэтажных планах

Для визуализации распространения негативных последствий повреждений отдельных узлов гетерогенных инженерных систем, удобно использовать различные программные комплексы, например, ГИС. В тоже время, исходя из перечисленных выше особенностей инженерных инфраструктур, для зданий и сооружений следует, что создание многослойной модели в соответствии с подходом [2] весьма непростое занятие. Если каждый этаж с многообразием видов сетей представить многими слоями, в том числе слоями межсетевых связей, тогда только для одного многоэтажного здания такая модель может содержать десятки слоев отображаемых в ГИС. Причем принципиальные схемы электроснабжения и др. внутри зданий являются детальными, что еще больше затрудняет прямое использование модели типа «слоеный пирог» в изложении [3].

7 Последовательность действий при анализе взаимосвязанных инфраструктур зданий и сооружений

На первом этапе анализа производится декомпозиция сложной многослойной модели для зданий и сооружений, состоящей из разных инфраструктур, на более простые (по этажам здания).

Поиск критически важных объектов сетевых инженерных инфраструктур зданий и сооружений происходит на основе входе-выходной модели, которая показала эффективность в задачах анализа уязвимости сетевых структур.

Имитация распространения последствий отказа критически важных объектов по различным взаимосвязанным инженерным инфраструктурам зданий и сооружений производится путем построения путей доставки ресурсов для потребителей с помощью разработанной программы – диспетчера, определяющей переходы через узлы сопряжения между инфраструктурами.

После определения последствий выхода из строя критически важных объектов сетевых инженерных инфраструктур зданий и сооружений необходимо принимать решения предотвращению таких ситуаций.

Литература

1. G. G. Grebenyuk, S. M. Nikish, Blocking of Energy and Resource Supply of Target Objects in Network Infrastructures. Autom. Remote Control, 79:3 (2018), 535–544
2. Гребенюк Г.Г., Дорри М.Х., Роцин А.А., Никушов С.М. A study of influence of the structure of Heterogeneous Engineering Networks on the Reliable Operation of Large Consumes / Proceedings of the 11th IEEE International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT2017, Moscow). М.: IEEE, 2017. Т. 2. С. 57-61.
3. V.V. Valencia Modeling for risk assessment on build infrastructure systems, Air force institute of technology, Wright-Patterson Air Force Base, Ohio, 2013