

УДК 004.052+004.358

В.О. Давыдов, канд. техн. наук, доц.,
О.Б. Максимова, математик,
Одес. нац. политехн. ун-т

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НАДЕЖНОСТЬЮ

В.О. Давыдов, О.Б. Максимова. **Імітаційна модель об'єкта управління для системи управління надійністю.** Запропоновано концепцію систем управління надійністю. На прикладі процесу теплопостачання приміщень сформульовано комплекс завдань, які необхідно вирішити для створення і дослідження даних систем. Розв'язано задачу розробки імітаційної моделі об'єкта управління.

В.О. Давыдов, О.Б. Максимова. **Имитационная модель объекта управления для системы управления надежностью.** Предложена концепция систем управления надежностью. На примере процесса теплоснабжения помещений сформулирован комплекс задач, которые необходимо решить для создания и исследования данных систем. Решена задача разработки имитационной модели объекта управления.

V.O. Davydov, O.B. Maksimova. **Imitating model of control object for reliability management system.** The concept of reliability management systems is offered. On an example of the process of housing heat supply, the complex of problems to be solved for creation and research of the given systems is formulated. The problem of creating a simulation model of a control object is solved.

На примере организации производства в СССР можно видеть, как опираясь на практически неограниченный источник ресурсов, решения задач управления, зачастую основывались на примитивных алгоритмах, позволяющих достичь заданное значение целевой функции в ущерб эффективности, экономичности, надежности и т.д.

Позволить себе подобные решения сейчас нельзя, особенно в области теплоснабжения жилых и производственных зданий и сооружений. На законодательном уровне жестко нормированы тепловые потери в различных строительных конструкциях и несоблюдение этих норм влечет за собой большие штрафы. Растут цены на природное топливо. Некоторые виды ресурсов приходится закупать за границей. Введение подобных ограничений на количество и стоимость ресурсов делает актуальной задачу эффективного управления различными процессами в жилом, административном и промышленном секторах страны при минимальных затратах ресурсов.

Очевидно, что экономия ресурсов невозможна в системах, где задача управления решается при помощи одной единицы оборудования, в этом случае улучшения обуславливаются только повышением КПД оборудования и не связаны с процессом управления. Для появления возможности экономии должен быть выбор альтернативных вариантов достижения цели управления. Так, если задача управления заключается в поддержании комфортной температуры в жилом помещении и для решения этой задачи располагаем двумя газовыми котлами и теплонасосной установкой (ТНУ), то появляется альтернатива: включать котлы и расходовать газ или включать ТНУ и расходовать электроэнергию. Но как бы не пытались сэкономить ресурсы, рано или поздно возникнет проблема надежности.

На примере задачи теплоснабжения жилого помещения можно продемонстрировать преимущество интеллектуального управления ресурсами и оборудованием. Допустим, что сейчас на улице зима и система управления приняла решение снабжать помещение теплом за счет ТНУ, а не за счет котлов. С точки зрения стоимости ресурсов (в данный момент) это, несомненно, выгодно. Но при таком подходе можно выработать в холодное время года весь ресурс ТНУ. При этом в начале теплого времени года она может просто выйти из строя и снабжать помещение холодом не будет возможности.

Таким образом, современную задачу управления можно сформулировать как обеспечение номинальных показателей технологических процессов в условиях ограниченности энергоресурсов при заданном значении надежности.

Для ее решения предлагается концепция, заключающаяся в синтезе нового класса систем управления надежностью (СУН), в которых управляющее воздействие вырабатывается не только на основе сигнала рассогласования, но и на основе данных о текущей надежности всей номенклатуры оборудования, а также данных о требуемом уровне надежности всей системы в целом в период времени между плановыми ремонтами.

Процесс синтеза СУН можно условно разбить на четыре этапа:

- разработка имитационной модели объекта управления;
- использование модели для синтеза алгоритмов управления надежностью;
- исследование и анализ свойств СУН на примере выбранного объекта управления;
- исследование и анализ СУН в общем случае для любого технологического процесса.

Цель данной статьи — освещение задачи первого этапа, т.е. разработки имитационной модели.

В качестве объекта управления выбрана система теплоснабжения жилого коттеджа. Система включала в себя теплые полы и стены, ТНУ и два водогрейных котла. Задача управления — круглый год поддерживать заданную температуру в помещениях.

В результате предварительного анализа выбраны критерии, которыми должна руководствоваться СУН при управлении.

Для оценки эффективности СУН в плане расхода первичных энергоресурсов целесообразно использовать их стоимость.

В общем случае может накладываться ограничение на количество доступных ресурсов, и возникает дополнительная задача обеспечения максимально возможного качества управления. Следовательно, необходим один или несколько критериев, характеризующих качество процесса управления. Здесь можно воспользоваться общепринятыми критериями, такими как время переходного процесса, величина перерегулирования и др.

Следующим критерием управления является эффективность оборудования. КПД котлов меньше единицы, в то время как механизм преобразования тепла в ТНУ позволяет достичь теплового коэффициента преобразования, равного 7,0. Следовательно, система управления должна

использовать наиболее эффективное в данный момент оборудование, что непосредственно уменьшает количество требуемых ресурсов.

И, наконец, последним критерием является надежность каждой единицы оборудования и всей системы в целом. В самом примитивном варианте управления система должна поддерживать надежность различных видов оборудования на одном уровне. В общем же случае необходимо так планировать износ, чтобы в каждый момент времени надежность отдельных узлов системы была не ниже заданного уровня.

Далее необходимо было разработать концепцию моделирования надежности оборудования.

Принято, что в каждой единице оборудования присутствуют три компоненты, определяющие ее работоспособность: “хрупкая”, “средняя” и “надежная”. У “хрупкой” компоненты малое время наработки на отказ и время, необходимое для замены компоненты в случае ее выхода из строя. У “надежной” компоненты, наоборот. В случае поломки любой из компонент оборудование считается вышедшим из строя на время, равное времени восстановления сломанной компоненты. По окончании данного временного интервала надежность сломанной компоненты полностью восстанавливается и оборудование считается готовым к работе.

Для моделирования надежности выбран закон Вейбула [1]. Функция надежности при этом определялась как

$$P(t) = e^{-\lambda t^\alpha}, \quad (1)$$

а коэффициент интенсивности отказа

$$\lambda(t) = \alpha \lambda t^{\alpha-1}. \quad (2)$$

Основной причиной широкого использования закона Вейбула в надежности является то, что он, обобщая экспоненциальный закон, содержит дополнительный параметр α . Подбирая нужным образом параметры λ и α , можно получить лучшее соответствие опытным данным по сравнению с экспоненциальным законом, который зависит только от одного параметра λ . Так, у элемента, в котором часто встречаются скрытые дефекты, но который в течение долгого времени не “стареет”, опасность отказа резко повышена вначале, а потом быстро падает. Функция надежности такого элемента должна хорошо приближаться законом Вейбула при $\alpha < 1$. Наоборот, если у элемента практически не бывает скрытых дефектов, но зато он быстро “стареет”, опасность отказа монотонно растет, и функция надежности должна хорошо приближаться законом Вейбула с параметром $\alpha > 1$ (рис. 1).

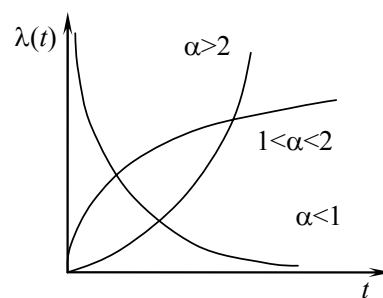


Рис. 1. Зависимость распределения интенсивности отказов для различных значений α в законе Вейбула

Вероятностное поведение компонент планировалось обеспечить за счет использования 32-битного генератора случайных чисел. При этом в каждой итерации моделирования на основании выражения (2) и максимального значения MAX_RANDOM, выдаваемого генератором, необходимо определять порог *Threshold*

$$Threshold = \lambda(t) * MAX_RANDOM. \quad (3)$$

Если выдаваемое генератором число меньше порога, то считается, что компонента вышла из строя.

Также было принято, что при включении/выключении оборудование подвергается повышенному износу.

Далее синтезирована информационная модель системы теплоснабжения. К сожалению, в полном объеме со всеми атрибутами (более 150) модель является слишком громоздкой, поэтому приведен ее сокращенный вариант, демонстрирующий только основные атрибуты и связи (рис. 2).

На следующем шаге синтезированы модели состояний для объектов информационной модели. Для обозначений состояний и событий использован псевдокод, что в дальнейшем облег-

чает переход непосредственно к программной реализации разрабатываемых моделей.

Жизненный цикл модели “хрупкой” компоненты (рис. 3) начинается в момент создания экземпляра объекта, при этом он переходит в состояние “Выключено”. По событию “Вкл” объект активируется и переходит в состояние “Ожидание сообщения”, в котором ожидает поступление извне управляющих команд. По событию “Расчет” объект переходит в состояние “Расчет работы”. В этом состоянии реализуется математическая модель “хрупкой компоненты” (выражения (1)...(3)). При возникновении поломки объект переходит в состояние “Ремонт”, фиксирует время начала ремонта, и на последующие события “Расчет” реагирует переходом в состояние “Расчет ремонта”. В этом состоянии проверяется, не завершен ли ремонт, и если да, то по событию “Завершено” объект возвращается в исходное состояние “Выключено”.

На рис. 4. приведена модель состояний объекта ТНУ. Как и в модели компонент надежности исходным состояние является “Выключено”. Переходы “Выключено” → “Ожидание сообщения” и “Ожидание сообщения” → “Выключено” возможны только через промежуточные состояния “Включить подачу фреона” и “Выключить подачу фреона”, в которых посылаются команды включения и выключения хрупким компонентам (события “Вкл” и “Выкл”). В отличие от модели на рисунке 3 по событию “Расчет” объект ТНУ сначала переходит в состояние “Расчет хрупкой компоненты” в котором моделируется работа хрупких компонент. По результатам моделирования можно перейти либо к расчету матмодели ТНУ в состоянии “Расчет работы”, либо к ожиданию восстановления сломанной компоненты в состоянии “Ремонт”. Дальнейшее поведение ТНУ аналогично модели на рисунке 3.

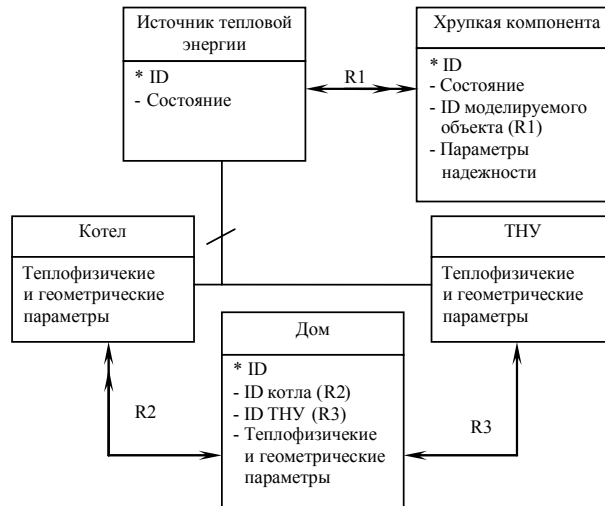


Рис. 2. Информационная модель системы теплоснабжения

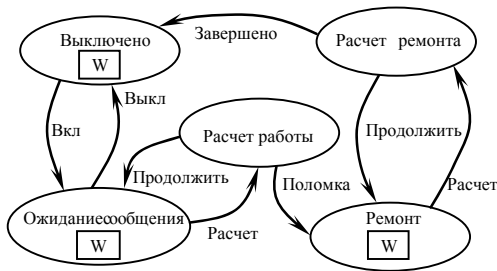


Рис. 3. Модель состояний “хрупкой компоненты”



Рис. 4. Модель состояний объекта “ТНУ”

Дальнейший анализ показал, что для объекта “Дом”, а в перспективе и для объекта “Система управления”, можно обойтись тривиальными моделями состояний, состоящими всего из двух состояний “Ожидание сообщения” и “Расчет”.

Модель состояний объекта котел (рис. 5), несмотря на свою сложность, во многом повторяет принципы, заложенные в модель ТНУ.

Поскольку котел может находиться в режимах, когда насос качает воду, но горелки выключены, например, произошел перегрев воды, введены соответствующие состояния, позволяющие смоделировать подобные ситуации. Так разделены процедуры включения/выключения воды и газа и введены состояния “Включить подачу воды”, “Выключить подачу воды”, “Включить подачу газа”, “Выключить подачу газа”. По аналогии с моделью (см. рисунок 3) в состояниях “Включить подачу воды” и “Выключить подачу воды”, помимо моделирования включения/выключения имитации движения воды, также посылаются команды включения/выключения соответствующим котлу хрупким компонентам. В состояниях “Включить подачу газа” и “Выключить подачу газа” моделируется включение/выключение подачи газа. Нормальная работа котла характеризуется цепочкой состояний “Ожидание сообщения” → “Расчет “хрупкой” компоненты” → “Расчет работы” → “Ожидание сообщения”. При этом считается, что работают и насос, качающий воду через котел, и горелка. В случае перегрева воды в котле по событию “Перегрев”, а также при поступлении команды выключения котла (событие “Выкл”) объект переходит через состояние “Выключить подачу газа” в состояние “Работа насоса”. Теперь цепочка состояний “Работа насоса” → “Расчет “хрупкой” компоненты” → “Расчет работы насоса” → “Работа насоса” имитирует работу только насоса при выключенном газе. Анализ причины перехода в состояние “Работа насоса” позволяет в дальнейшем либо снова включить газ и перейти к основному циклу работы, либо через состояние “Выключить подачу воды” вернуться в исходное состояние “Выключено”. Цепочка состояний “Расчет “хрупкой” компоненты” → “Ремонт” → “Расчет ремонта” → “Выключено”, также как и на модели ТНУ, позволяет смоделировать процесс ремонта и вернуться в исходное состояние.

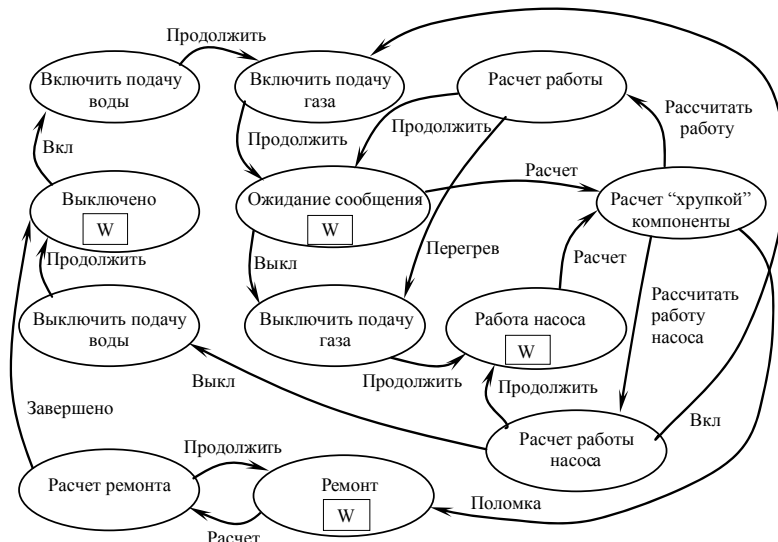


Рис. 5. Модель состояний объекта “котел”

Следующим этапом создания СУН станет использование разработанной модели для синтеза комплекса управляющих алгоритмов. Следует отметить, что сложность этих алгоритмов определяется скорее логикой, а не вычислениями. Множество оборудования, составляющего объект управления, соотношение заданных и текущих значений управляемых величин, значение внешних воздействующих факторов, текущая и требуемая надежность оборудования и его готовность к работе, и многое другое, — все это составляет множество частных задач управления, каждой из которых соответствует своя ветка в алгоритме. Поэтому синтез всего комплекса управляющих алгоритмов на данном этапе представляется сложной, кропотливой и весьма длительной задачей.

Таким образом, решена задача первого этапа создания СУН, а именно разработана имитационная модель объекта управления.

С использованием объектно-ориентированного подхода разработаны универсальные модели состояний, в которых с любой точностью и сложностью можно реализовать математические модели объектов системы теплоснабжения. В дальнейшем программная реализация предложенных моделей позволит решить следующую задачу разработки СУН — синтезировать управляющие алгоритмы.

Литература

1. Гнеденко, Б.В. Математические методы в теории надежности / Б.В. Гнеденко, Ю.К. Беяев, А.Д. Соловьев. — М.: Наука, 1965. — 524 с.

Рецензент д-р техн. наук, проф. Одес. нац. политехн. ун-та Королев А.В.

Поступила в редакцию 25 июня 2010 г.