



ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ С ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫМИ ОБЪЕКТАМИ

ПОПОВ В.М., НОВОЖИЛОВА М.В.

Предлагается структура имитационной модели территориальной системы техногенной безопасности (ТСТБ) как системы обслуживания. Входной поток требований на обслуживание моделирует вероятные техногенные аварии, вызванные случайными и систематическими отказами производственного оборудования территориальной производственной системы. Построенная имитационная модель представляет платформу для принятия решения о параметрах программы развития ТСТБ.

1. Введение

Решение проблемы устойчивости сложной социально-экономической системы региона включает разработку инструментальных средств моделирования состояния территориальной производственной подсистемы (ТПС) [1] в контексте содержания таких элементов, как потенциально опасные объекты (ПОО), которые рассматриваются с точки зрения эффективности функционирования территориальной системы техногенной безопасности (ТСТБ). В этом аспекте интересным представляется описание динамики состояния производственных фондов ТПС, включающее определение множества дестабилизирующих факторов, генерируемых внутренней и внешней средой ТПС, что вызывает случайные и постепенные отказы производственного оборудования. Подобная формализация закладывает методическую базу построения динамической имитационной модели ТСТБ. В условиях жестких ограничений текущего ресурсного потенциала ТСТБ, возросшей сложности задач, стоящих как перед ТСТБ, так и перед государственной службой гражданской защиты в целом, вопросы построения оптимальных программ развития ТСТБ подлежат решению с использованием информации о возможных сценариях дальнейшего функционирования ТПС. Таким образом, динамическая имитационная модель ТСТБ является основой сравнения существующей структуры и состава ТСТБ с аналогичными компонентами системы техногенной безопасности, модернизированной в результате реализации программы развития.

2. Анализ предыдущих исследований

В работах [1,2] на основе анализа имеющейся статистической информации о количестве и масштабах техногенных аварий в регионах Украины за последние 5 лет, данных Паспорта техногенного риска Харьковской области, материалов [3] выделены основные типы и источники техногенной опасности для Харьковской области. Возможный масштаб последствий техногенных аварий и катастроф обязывает принять соответствующие меры модернизации ТСТБ при составлении перспективных программ развития системы.

В [4,5] исследуются вопросы формализации понятия устойчивости производственной и инфраструктурной системы региона. Следуя [4], под устойчивостью понимают способность системы оказывать сопротивление (предотвращать и противостоять) любым возможным опасностям, поглощать начальный урон и восстанавливать нормальный режим работы.

Другими словами, под устойчивостью технологической (технической) системы понимается возможность сохранения ее работоспособности, точнее, производительности при чрезвычайной ситуации (ЧС).

В работе [6] рассмотрены методы, модели, информационные технологии и системы исследования причинно-следственного комплекса формирования и развития катастроф. Сделана попытка объединить полученные результаты с точки зрения системного анализа в научное направление «Информатика катастроф» или «Катаматика».

В [7,8] рассматриваются принципы адаптивного управления системами техногенной безопасности, а также программы их развития.

Однако в этих и других исследованиях не изучены вопросы разработки инструментальных средств моделирования взаимодействия промышленной системы региона, содержащей источники возможной техногенной опасности, и ТСТБ с учетом динамики их развития и обеспечения состояния устойчивости социально-экономической системы региона в целом. Оценка эффективности такого взаимодействия наряду с оценкой эффективности функционирования ТСТБ, получаемая на основе построения имплементации соответствующей имитационной модели, может быть также определяющим фактором при составлении программ развития региональной системы техногенной безопасности.

Цель исследования – построение логической структуры имитационной модели ТСТБ для обслуживания производственной системы с потенциально опасными объектами.

3. Изложение основного материала

Характеризуя множество R основных источников техногенной опасности в составе производственной системы Харьковского региона, выделим следующие их типы. Прежде всего, это объекты химической

промышленности или промышленные объекты, использующие опасные химические вещества (на 2013 – 93 объекта, около 10% всего количества химических предприятий Украины), что представляет угрозу загрязнения водного бассейна региона. Далее необходимо отметить объекты инженерной инфраструктуры города, включающие системы водоснабжения, водоотведения, теплоснабжения и др., а также пожары и взрывы, вызывающие аварии техногенного характера. В качестве причин возможной аварии рассмотрим случайные и систематические отказы оборудования. Первые вызваны ошибками персонала, случайными отказами систем энергоснабжения и другими подобными факторами, отказы второго типа вызваны старением основных производственных фондов $S_{ПФ}$.

Положим, что территориальная производственная система Ψ имеет трехуровневую иерархическую структуру (рис.1). На первом уровне иерархии выделены

множества Ψ и Ψ предприятий – компонентов ТПС – с низкой и высокой степенью устойчивости соответственно. В группу $\Psi = \{\Psi_1, \dots, \Psi_G\}$ включены промышленные объекты и элементы инженерной инфраструктуры, частота и максимальная степень тяжести возможных техногенных аварий на которых такова, что ТСТБ не нуждается в дополнительных внешних ресурсах для осуществления регламентных мероприятий по локализации и ликвидации аварии. При этом возможные негативные последствия не нарушают состояния устойчивости ТСП в целом.

На следующем уровне множество Ψ представим в виде разбиения на подмножество предприятий Ψ_1 с источниками химической опасности, а также подмножество Ψ_2 элементов инженерной инфраструктуры региона. В свою очередь, множество Ψ_2 состоит из P множеств $\Psi_{2k}, k=1,2,\dots,P$, P – количество типов инженерных сетей (водоснабжение, водоотведение, теплосеть).

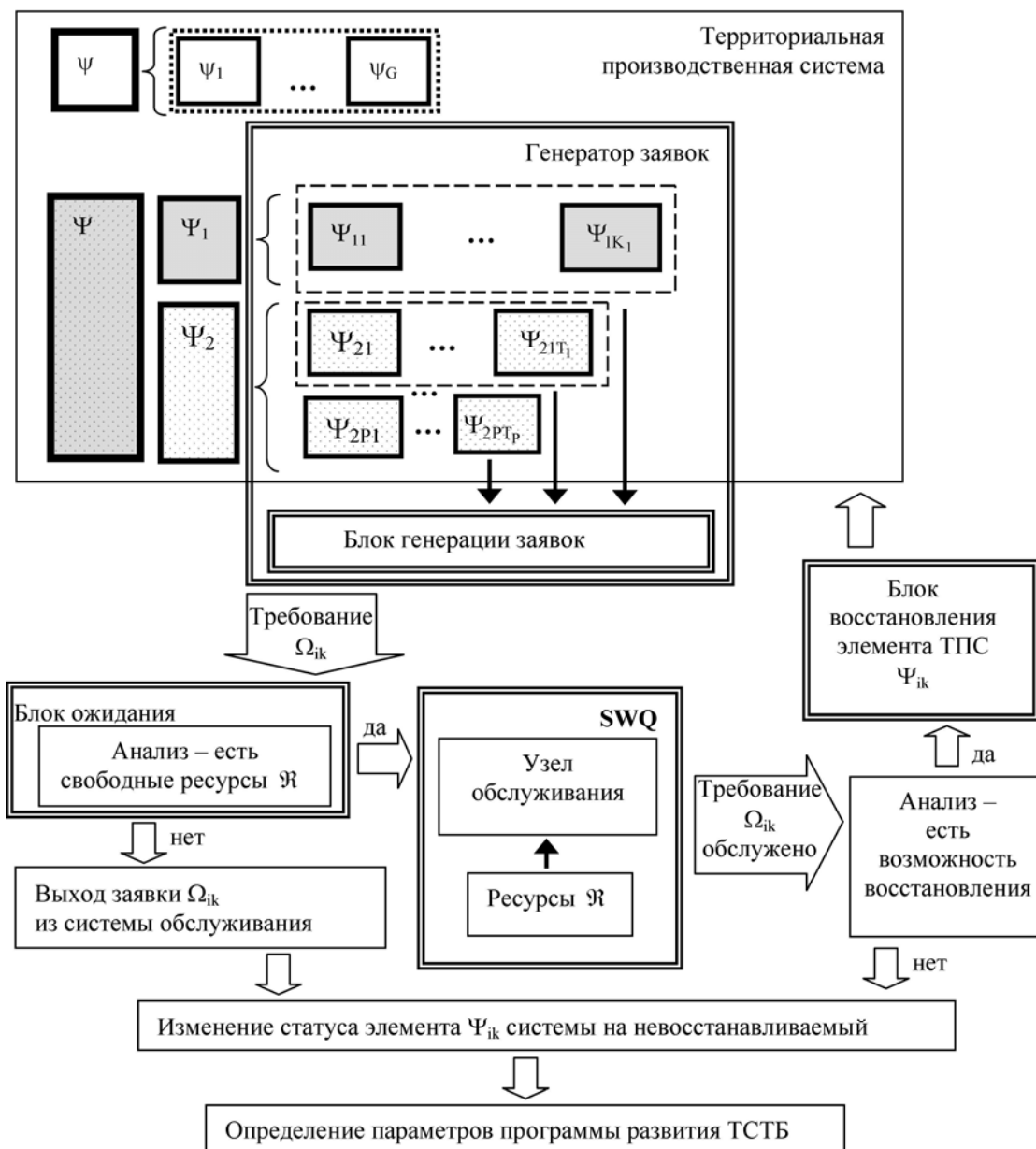


Рис. 1. Логическая структура имитационной модели ТСТБ как подсистемы ТПС перспективного развития ТСТБ

Рассмотрим следующие предположения, вытекающие из контекста построения имитационной модели ТПС, содержащей ПОО для дальнейшего применения при определении параметров программ.

Предположение 1. Каждое из множеств $\Psi_1, \Psi_{2p}, p=1,2,\dots,P$, рассматривается как множество высоконадежных восстанавливаемых элементов $\{\Psi_{11}, \dots, \Psi_{1K_1}\}$ и $\{\Psi_{211}, \dots, \Psi_{2PK_p}\}$ производственной системы соответственно.

Далее без потери общности остановимся на двух типах предприятий (на рис.1 выделены пунктирной линией), что позволяет упростить индексацию объектов: $\Psi_{2pk} = \Psi_{2k}, p=1; k=1,2,\dots,K_2$.

Предположение 2. ТСТБ рассматривается как система обслуживания без очередей – SWQ («system without queues»), непрерывно функционирующая в повседневном режиме.

Назовем событием Ω возникновение отказа оборудования элемента множества Ψ , что мгновенно изменяет состояние как производственной системы, так и ТСТБ как обслуживающей системы. В момент возникновения события Ω , соответственно, генерации требования на обслуживание ТПС переходит из режима штатного функционирования в аварийный режим, а ТСТБ – из повседневного в режим чрезвычайной ситуации. Обозначим требование на обслуживание через Ω_{ik} .

Таким образом, для моделирования развития взаимодействия систем во времени принимается парадигма дискретно-событийного моделирования.

ТСТБ есть система с резервированием, следовательно, SWO представляется как многоканальная система обслуживания.

Принимая во внимание, что каждое из множеств $\Psi_{ik}, k=1,2,\dots,K_i, i=1,2$ - это независимый источник требований на обслуживание, рассмотрим механизм функционирования имитационной модели как продвижение от события к событию (рис.2).

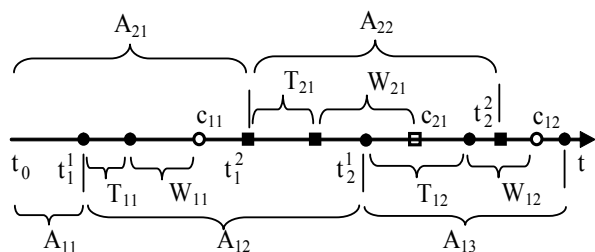


Рис. 2. Механизм функционирования имитационной модели:

- – движение требования Ω_{1k}
- – движение требования Ω_{2k}
- , ○ – моменты выхода требований Ω_{ik} из системы

В соответствии с наличием двух источников требований на временной оси присутствуют два типа событий,

моменты возникновения которых – $t_j^{i(k)}, j=1,2,\dots$ – случайны. Через A_{ij} обозначено время между поступлениями требований типа i : $A_{ij} = t_j^i - t_{j-1}^i$, S_{ij} – время, потраченное узлом SWQ на обслуживание требования Ω_{ik} в режиме чрезвычайной ситуации; W_{ij} – время восстановления элемента Ψ_{ik} , сгенерировавшего заявку Ω_{ik} , c_{ij} – моменты выхода требований по завершении обслуживания.

Каждое требование Ω_{ik} характеризуется уровнем тяжести реализованной опасности $r_i, i=1,2,\dots,I$, что влияет на эффективность ТСТБ. Примем следующие уровни: $r_i = \{\text{'низкий'}, \text{'средний'}, \text{'значительный'}\}, I=3$. При формировании требования в блоке генерации заявок уровень тяжести r_i задается согласно равномерному распределению.

Оценка эффективности ТСТБ как системы обслуживания определяется вектором числовых параметров, описывающих качество обслуживания. Такими характеристиками являются: время реакции системы на появление требования на обслуживание – в данной системе моделируется как время D_{ij} задержки требования в очереди (блок ожидания реакции ТСТБ), измеряемое в минутах, время ликвидации техногенной аварии – время T_{ij} (измеряется в днях), величина задействованных ресурсов различных видов.

Структура имитационной модели, обладая небольшим числом типов абстрактных объектов (на рис. 1 элементы имитационной модели выделены двойной рамкой), отражает структуру реальной системы ТСТБ и логику обслуживания. Здесь производственная система выступает источником требований двух видов на обслуживание – соответствующий элемент имитационной модели называется «генератор заявок».

Генератор заявок решает несколько задач.

Задача 1. Определение вида входных распределений моментов поступления требований на обслуживание. Моделирование входных потоков требований осуществляется несколькими способами [9]: моделирование, управляемое блоком слежения, построение функции эмпирического распределения, использование стандартных методов статистического вывода для подбора формы теоретического распределения. Остановимся на последней методике.

В этом контексте такие показатели надежности технической системы: $P(t)$ – вероятность безотказной работы – эмпирическая функция надежности и интенсивность отказов $\lambda(t)$ [9] формируют характеристики входного потока требований на обслуживание как основного элемента имитационной модели. Выделение конкретного входного распределения разбивается на следующие этапы: на основании предварительных сведений выбирается тип моделирующего распределения и обосновывается теоретически. В данном случае учет факта поступления событий одного типа в

систему по одному, причем число событий, поступивших в систему в непересекающиеся промежутки времени, является независимой случайной величиной, может служить обоснованием того, что интервалы времени между событиями являются независимыми экспоненциально распределенными случайными величинами. Кроме того, анализ предметной области показывает, что в силу особенностей ряда имеющихся теоретических распределений (например, нормального распределения $N(x, a, s)$ или гамма-распределения) их применение здесь исключено.

Очевидно, на частоту $l(t)$ возникновения чрезвычайных ситуаций в результате различного рода отказов оборудования и уровень тяжести последствий значительно влияет динамика изменения состояния основных фондов ТПС.

В современной практике хозяйствования параметры основных фондов ПОО таковы, что условия деятельности производственной системы соответствуют во многом периоду старения. На данном этапе жизненного цикла ТПС особенное значение приобретают систематические отказы, обусловленные закономерными и неизбежными явлениями, вызывающими постепенное накопление повреждений, усталость, износ.

Анализ имеющихся статистических данных и опыта эксплуатации технических систем показывает, что в период старения объекта интенсивность систематических отказов $\lambda_{\text{сист}}(t)$ растет, линейно или квадратично. Таким образом, выбор формы теоретического распределения моментов поступления требований на обслуживание, генерируемых каждым из множеств Ψ_1, Ψ_2 независимо, делается в пользу нестационарного распределения Пуассона вида

$$P_0(t, t_n) = \frac{\eta(t, t_n)^0}{k!} e^{-\eta(t, t_n)}, \quad (1)$$

где $\eta = \int_{t_n}^{t_n+t} \lambda(t) dt$ – параметр распределения; t_n – начало

интервала наблюдения; q – количество требований в интервале $[t_n, t]$.

Задача 2. Определение параметров размещения объекта, ассоциированного с текущей заявкой, т.е. определение параметра k . Отметим, что элементы упорядоченных множеств Ψ_i имеют пространственное распределение, при этом размещение объекта Ψ_{ik} техногенной аварии играет важную роль для оценки возможного ущерба, тяжести последствий для экономики региона и времени восстановления W_{ij} объекта. Для выполнения указанной задачи в рамках данной модели предложено использовать равномерное распределение $U(0, 1)$ с последующим отображением на множества Ψ_1, Ψ_2 .

Задача 3. Еще одной важной характеристикой моделируемой ТПС является время восстановления W_{ij} аварийного элемента Ψ_{ik} (дни). Во-первых, на это

время отвлечены ресурсы ТСТБ, величина которых определяется тяжестью аварии. Во-вторых, режим функционирования Ψ_{ik} может влиять на параметры обслуживания ТСТБ последующих требований.

Положим, что время восстановления W_{ij} удовлетворяет нормальному распределению с заданным средним (стандартным отклонением) в зависимости от уровня γ_i тяжести аварии.

Блоки анализа ресурсов имитируют наличие ограниченного числа и величины ресурсов, что задается вектором параметров \mathcal{R} . Отметим, что недостаток ресурсного обеспечения наряду с наднормативными характеристиками времени реакции D_{ij} и времени ликвидации аварии T_{ij} является основанием для разработки соответствующей программы развития ТСТБ.

4. Заключение

Проведен анализ режимов функционирования основных блоков логической структуры имитационной модели ТСТБ, предложенной в работе. Данная имитационная модель представляет собой инструментальную среду поддержки принятия решений при проведении анализа опасностей и риска техногенных аварий на ПОО ТПС, формирования миссии программы развития ТСТБ на этапе ее разработки, а также может применяться для решения оперативных задач управления программой развития на всех этапах реализации ее компонент.

Литература: 1. Попов В.М. Показатели эффективности региональной системы техногенной безопасности / В.М. Попов, И.А. Чуб, М.В. Новожилова // Вестник Командно-инженерного института МЧС Республики Беларусь. 2014. № 2 (20). С. 32-41 2. Попов В.М. Концептуальное представление системы техногенной безопасности региона / В.М. Попов, М.В. Новожилова, И.А. Чуб // Системи обробки інформації. 2012. Вип. 9(107). С. 201-205. 3. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2013 році. Київ: Чорнобиль-інтерінформ. 2014. – 236с. 4. Ouyang Min A three-stage resilience analysis framework for urban infrastructure systems / Min Ouyang L. Duecas-Osorio, Xing Min // Structural Safety, 2012. N 36–37. P. 23-31. 5. Vugrin E.D. A framework for assessing the resilience of infrastructure and economic systems/ E.D. Vugrin, D.E. Warren, M.A. Ehlen, R.C. Camphouse // Sustainable and resilient critical infrastructure systems: simulation, modeling, and intelligent engineering. Berlin: Springer-Verlag, 2010. 420p. 6. Берман А.Ф. Информатика катастроф // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2012. №3. С. 17-37. 7. Попов В.М. Модель адаптивной системы техногенной безопасности региона/ В.М. Попов, И.А. Чуб, М.В. Новожилова // Системи обробки інформації, 2012. Вип. 6. С.248–252. 8. Попов В.М. Принципы адаптивного управления программами развития региональных систем техногенной безопасности / В.М. Попов, М.В. Новожилова, И.А. Чуб // Управління проектами: стан та перспективи: Х міжнарод. науч.-практ. конф., 16-19 сентября 2014. Николаев: тез. докл. Николаев, НУК им. адм. Макарова, 2014. С. 215-218. 9. Кельтон В. Имитационное моделирование / В. Кельтон, А. Лоу. СПб.: Питер; Киев: ВНУ, 2004. 847 с.

Поступила в редколлегию 24.11.2014

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Гребенник И. В.

Попов Вадим Михайлович, канд. техн. наук, доцент, проректор Национального университета гражданской защиты Украины. Научные интересы: математическое моделирование системы техногенной безопасности региона. Адрес: Украина, 61000, Харьков, ул. Чернышевская, 94, тел. (057) 707-34-13.

Новожилова Марина Владимировна, д-р физ.-мат. наук, профессор, заведующая кафедрой Харьковского национального университета строительства и архитектуры. Научные интересы: системный анализ, математическое моделирование сложных динамических систем. Адрес: Украина, Харьков, 61000, ул. Сумская, 40, тел. (057) 706-20-49.

УДК519.7

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ЭВОЛЮЦИОННОЙ ОПТИМИЗАЦИИ В ЗАДАЧАХ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ОРГАНИЗАЦИОННОМ УПРАВЛЕНИИ ПРОИЗВОДСТВОМ

ГВОЗДИНСКИЙ А.Н., ЭЗЕ Ф.М.

Предлагается подход к решению проблем управления запасами, основанный на эволюционных методах, возникающих при поиске рационального плана раскроя. Показывается возможность сравнительно легкой адаптации алгоритма к различным вариантам постановки задачи. В качестве объектов исследования рассматриваются системы интеллектуального анализа данных и объекты производственной деятельности предприятий и фирм различного назначения. Рассматривается задача управления запасами в системах производственного планирования на примере задачи оптимального раскроя ресурсов.

1. Введение

В данной работе приводится формальная постановка задачи, на решение которой изначально был направлен первый генетический алгоритм, и общая схема работы самого алгоритма. Описываются составляющие генетического алгоритма и их назначение. Для решения конкретной задачи разработчик, исследователь может сконструировать свою конкретную схему работы генетического алгоритма из его составляющих. При этом разработчик руководствуется особенностями предметной области, формализации задачи, структурой используемых данных, возможно, даже результатами тестирования других схем генетического алгоритма. Разумеется, в строении всех таких алгоритмов есть общие элементы и последовательность действий, которые являются основой генетических алгоритмов и отличают их от многих других. Данная статья посвящена опыту конструирования конкретных вариантов генетического алгоритма.

2. Состояние проблемы и анализ методов эволюционной оптимизации

Средства эволюционной оптимизации включают следующие методы: нейронные сети, деревья решений, генетические алгоритмы, а также их комбинации [1].

Нейронные сети относят к классу нелинейных адаптивных систем, строением они условно напоминают нервную ткань из нейронов. Это набор связанных друг с другом узлов, получающих входные данные, которые осуществляют их обработку и вырабатывают

на выходе определенный результат. На узлы нижнего слоя подаются значения входных параметров, на их основе производятся вычисления, необходимые для принятия решений, прогнозирования развития ситуации. Эти значения рассматривают как сигналы, которые передаются в вышележащий слой, усиливаясь или ослабляясь в зависимости от числовых значений (весов), приписываемых межнейронным связям. На выходе нейрона самого верхнего слоя вырабатывается значение, которое рассматривается как ответ, реакция всей сети на введенные начальные значения. Так как каждый элемент нейронной сети частично изолирован от своих соседей, у таких алгоритмов имеется возможность для распараллеливания вычислений. Нейроны сети обрабатывают входные данные, для которых известны и значения входных параметров, и правильные ответы на них. Обучение состоит в подборе весов межнейронных связей, которые обеспечивают наибольшую близость ответов сети к известным правильным ответам. После обучения на имеющихся данных сеть готова к работе и может быть использована для построения прогнозов поведения объекта в будущем. Нейронные сети используются для решения задач прогнозирования, классификации или управления.

Достоинство – сети могут аппроксимировать любую непрерывную функцию, нет необходимости заранее принимать какие-либо предположения относительно модели. Исследуемые данные могут быть неполными или зашумленными. Удобны при работе с нелинейными зависимостями.

Недостаток – необходимость иметь большой объем обучающей выборки. Окончательное решение зависит от начальных установок сети. Данные должны быть обязательно преобразованы к числовому виду. Полученная модель не объясняет обнаруженные знания.

Деревья решений используют разбиение данных на группы на основе значений переменных. В результате получается иерархическая структура операторов «Если..., то ...», которая имеет вид дерева. Для классификации объекта или ситуации нужно ответить на вопросы, стоящие в узлах этого дерева, начиная от его корня. Если ответ положительный, переходят к правому узлу следующего уровня, если отрицательный – к левому узлу. Заканчивая ответы, доходят до одного из конечных узлов, где указывается, к какому классу надо отнести рассматриваемый объект. Деревья решений предназначены для решения задач классификации и поэтому весьма ограниченно применяются в области финансов и бизнеса.