

ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ КРУПНОМАСШТАБНЫХ СИСТЕМ

Богомолов А.И., Невежин В.П.,

Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации
aibogomolov@fa.ru, vpnevezhin@fa.ru

Никитаев В.Г., Броничев А.Н.

Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ
kaf46@mail.ru

Аннотация. Функционирование крупномасштабных систем нуждается в постоянном мониторинге и ранней диагностике возможных нежелательных отклонений ("болезней") от состояния её устойчивого развития. Уникальность крупномасштабных систем выдвигает особые требования к созданию её диагностической модели, которые могут быть сформулированы на основе синтеза знаний применяемых моделей диагностики в технических, социально-экономических и живых систем. Различие подходов, технологий и достижений в этих различных областях могут сыграть положительную роль в построении диагностической модели уникальной крупномасштабной системы. В её построении особую роль играют теории и инструменты искусственного интеллекта, теории множеств и сети доверия Байеса. Рассмотрено и приведено использование сети доверия Байеса на примере формирования тарифов в страховой области.

Ключевые слова: диагностика, техническая система, экономическая система, болезни, классификация, сети доверия Байеса

Введение

Системы диагностики играют важную роль во всех сферах жизнедеятельности человека и общества. Адекватный и достаточно ранний диагноз необходим не только больным людям, но и экономическим, социальным и техническим системам. Результат такой диагностики позволяет вовремя принять необходимые меры для редуцирования идущих в системе нежелательных процессов, выявить их причинно-следственные и функциональные связи с внутренней и внешней средой.

Любая система, будь то человек, сложный технический объект, хозяйствующий субъект, или экономическая система проходит свой жизненный путь от рождения (создания) до смерти. На рис. 1 показан жизненный цикл на примере организации.

Если рассматривать человека, то он рождается, растёт, развивается, болеет, стареет в результате негативных процессов, происходящих в его организме и, в конечном итоге, умирает. Похожие рассуждения можно отнести и к любой экономической системе или крупномасштабному проекту (старение, физическое или моральное, также можно рассматривать как болезнь). Таким образом, в период от создания (рождения) любой системы до её «смерти», важнейшее значение имеет задача своевременного выявления негативных процессов, происходящих в системе, то есть диагностика.

Несмотря на такую очевидность, в литературе отсутствует целостное междисциплинарное определение диагностики как разновидности научного познания, нет четкого определения её специфики [1], что затрудняет развитие и обобщение её достижений для различных областей познания.



Рис. 1. Жизненный цикл организации

Развитие технологий и усложнение технических систем, от которых в ряде случаев зависит безопасность многих людей, ставят задачу всё более тщательного и автоматизированного контроля их состояния и раннего обнаружения их дефектов, то есть проведения диагностики. В тоже время, такая сложная система, как человеческий организм, получает всё более совершенные технологии для обнаружения болезней и нарушений его жизнедеятельности, которые также можно рассматривать как дефекты системы [2,3]. Экономика также представляет собой динамическую, слабоструктурированную сложную систему, состоящую из многих элементов, в том числе из большого количества хозяйствующих единиц, находящихся в довольно тесном, непрерывном взаимодействии. Она имеет ярко выраженную иерархическую, многоуровневую структуру. При этом, каждый уровень иерархии интегрирует по определенным правилам (алгоритмам) информационные сигналы (потоки) другим уровням иерархии и оперирует информационными агрегатами. Наконец, следует учитывать, что социально-экономическая система характеризуется, в частности, способностью саморазвития и ей присущи такие элементы, как хаотичность, непредсказуемость и случайность, т.е. неопределенность.

Причины неопределённости в экономике разнообразны. В частности, к неопределенности приводят такие особенности процессов в экономике, как неполнота информации, наличие динамических изменений внутренних и внешних условий развития экономических объектов, случайность многих процессов, наличие ошибок в прогнозировании и погрешностей при анализе сложных систем, вероятностный и/или нечеткий характер экономических параметров.

Из этого следует, что в экономике также возникают проблемы, которые могут быть вызваны дефектами составляющих её элементов и подсистем (процессы и объекты экономики), нарушением связи между её отдельными элементами. И так же, как с человеческим организмом, в экономике стоит та же задача: обнаружение дефектов (болезней системы) и их причин.

2 Применение системного подхода

В данной статье делается попытка найти общие подходы и методы проведения диагностики, так и различия в диагностике функционирования отдельных органов человека и обнаружении дефектов в технических объектах и экономических процессах на основе системного подхода.

Когнитивные (информационные и математические) модели в общем виде отражают типичные черты и особенности диагностики сложных объектов. При этом они должны исходить из некоего общего основания для этой области познания.

При теоретическом рассмотрении сложной технической или экономической системы, а также человеческого организма, общим для них будет применение системного подхода. **Системный подход** — направление методологии научного познания, в основе которого лежит рассмотрение объекта как системы: целостного комплекса взаимосвязанных элементов (И. В. Блауберг, В. Н. Садовский, Э. Г. Юдин), совокупности взаимодействующих объектов (Л. фон Берталанфи); совокупности сущностей и отношений (Холл А. Д., Фейджин Р. И., поздний Берталанфи) [4]. При этом системный подход является не столько методом решения задач, сколько методом постановки задач. Приведём основные принципы системного подхода в соответствии с работой [5].

Целостность, позволяющая рассматривать одновременно систему как единое целое, и, в то же время, как подсистему для вышестоящих уровней.

Иерархичность строения - наличие множества (по крайней мере, двух) элементов, расположенных на основе подчинения элементов низшего уровня элементам высшего уровня. Реализация этого принципа хорошо видна на примере любой организации. Как известно, любая организация представляет собой взаимодействие двух подсистем: управляющей и управляемой.

Структуризация, позволяющая анализировать элементы системы и их взаимосвязи в рамках конкретной структуры. Как правило, процесс функционирования системы обусловлен не столько свойствами её отдельных элементов, сколько свойствами самой структуры.

Множественность, позволяющая использовать множество информационных, экономических и математических моделей для описания отдельных элементов и системы в целом.

Системность, свойство объекта обладать всеми признаками системы.

3 Применение классификации дефектов

В диагностике то, что мы хотим узнать об исследуемом объекте, т.е. каким будет его образ или модель, в значительной степени предопределено тем, что уже ранее известно об этом объекте или об однотипных с ним объектах. Врач может поставить правильный нозологический диагноз, т.е. построить адекватный типологический образ того заболевания, которое имеется у пациента, только при условии, что оно ему уже известно (как вид патологии). Он должен знать, какие у этой болезни могут быть симптомы, какие существуют исключения, быть осведомлен, в принципе, об известных медицинской науке причинах возникновения и закономерностях ее развития, и т.д.

Приступая к оценке менеджмента фирмы, эксперт заранее должен знать возможные типы (модели) управленческой деятельности и то, какие из них являются допустимыми и оптимальными для данной организации или ей однотипных.

Рассматривая же техническую систему, эксперт также стремится найти дефект и отнести его к определённой известному классу или виду.

Для определения заболеваний человека в здравоохранении создана Международная статистическая классификация болезней и проблем, связанных со здоровьем, которая отражается в документе, получившем наименование МКБ-10 [6]. Периодически (раз в десять лет) данная классификация пересматривается под руководством ВОЗ. Названный документ является нормативным документом, обеспечивающим единство методических подходов и международную сопоставимость материалов. Он является основой для анализа общей ситуации со здоровьем групп населения, а также применяется для подсчёта частоты и распространённости болезней и других проблем, связанных со здоровьем, в их взаимосвязи с различными факторами. В основу статистической классификации положен иерархический принцип группировки болезней с присвоением каждой нозологии (или нарушению) статистического кода с буквой английского алфавита в качестве первого знака и цифрами во втором, третьем и четвертом знаках кода.

Документ МКБ-10 является важным методическим средством для обеспечения дальнейшего развития медицины в направлении информатизации, персонализации диагностики, а также автоматизации основных управленческих процессов в здравоохранении.

Создание классификаций видов дефектов проводится и для различных технических систем. Так, например, в диагностике технического состояния автомобилей выделяют критические,

значительные, малозначительные, исправимые, неисправимые, конструктивные, производственные дефекты, изнашивание деталей. В свою очередь производственные дефекты автотранспорта подразделяют на шесть групп [7].

В строительстве и производстве промышленности строительных материалов разработан Классификатор основных видов дефектов. Имеются классификаторы дефектов и в других отраслях и видах производства технических объектов.

Ввиду большого разнообразия экономических систем основное внимание тоже уделяется их классификации. На рис. 2 приведена одна из возможных классификаций экономических систем [8].

Типы экономических систем	Что производить?	Как производить?	Для кого производить?	Роль государства	Собственность
Традиционная	Все основано на традициях			Активная	Общинная
Командно-административная	Общественные блага	Решает государство	Для всех потребителей	Определяющая	Государственная
Рыночная	Потребительские товары	Решает производитель	Для конкретных потребителей	Охранная	Частная
Смешанная	Общественные и потребительские товары	Решают производитель и государство	Для всех и конкретных потребителей	Охранная Антимонопольная Законодательная и судебная Перераспределение доходов Информационная	Многообразие равноправных форм

Рис. 2. Классификаций экономических систем

Общепринятой классификации «болезней» экономических систем не существует, что, тем не менее, не предполагает их отсутствия. Таким образом, для проведения их диагностики необходимо иметь предварительные представления диагностического образа «болезни» системы, а их множество диагностических образов должны образовывать некий классификатор.

4 Структура диагностической модели

Специфика диагностического образа связана с исключительно важной ролью в его формировании априорного знания, т.е. такого знания об объекте (его потенциально наблюдаемых, а также «скрытых» от наблюдения параметрах), которое предшествует диагностическому поиску и канализирует (направляет) его, предопределяя тем самым спектр возможных результатов этого поиска. Таким образом, одной из основных задач, стоящих в диагностике - это провести идентификацию выстраиваемого образа (модели) с самим объектом, т.е. создание **алгоритма идентификации**.

В процессе диагностики следует выделять **объект и предмет диагностики**. Так, объектом диагностического поиска врача-клинициста является конкретный (единичный) человек, а предметом - состояние его здоровья, болезнь, которой он, возможно, страдает и ее причина.

Автомеханик имеет дело с конкретной машиной, которая является объектом его диагностической деятельности, а предметом будет - функциональное состояние ее узлов и систем, отдельных деталей и элементов и т.п.

Аналитик экономической системы также рассматривает её как объект, а предметом его исследования являются составляющие экономической системы и происходящие в ней процессы.

Таким образом, можно представить общую трёхуровневую структуру диагностирования больших систем, таких как: технический объект, экономический объект, человек, рис. 3.

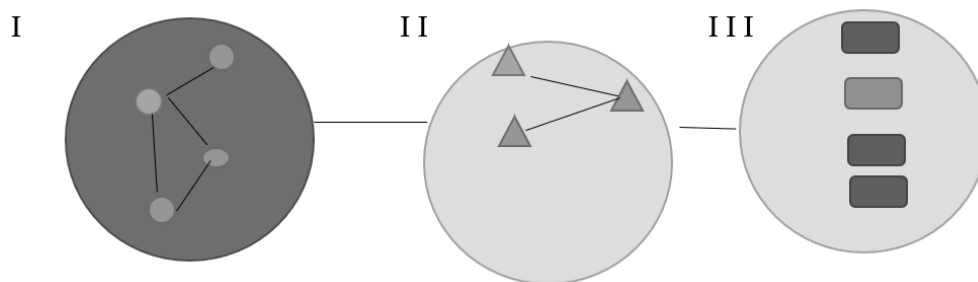


Рис. 3. Многоуровневая структура системы диагностики. Здесь: I – область доступных для диагностики параметров системы; II – область признаков «болезни» или дефектов системы; III – область определений (диагностических моделей) «болезней» или дефектов системы

С учётом системного подхода оптимальные решения задач диагностики сложных технических, экономических и живых объектов могут быть получены только в результате анализа множества N состояний, в которых эти объекты могут находиться в период своей деятельности. В связи с этим требуются специальные методы проведения теоретического анализа множества возможных состояний сложных объектов. Подобные методы основываются на исследовании аналитических описаний или графическо-аналитических представлений основных свойств сложных систем, как объектов диагностирования, которые могут быть названы их диагностическими моделями [9].

Однако сложность вышеназванных объектов, рассматриваемых нами как большие системы, затрудняет использование аналитических методов и создание их полной аналитической модели. В этом случае для решения задачи различимости дефектов объектов предлагается применять **топологическую модель**.

5 Модели в диагностике

Топологическая модель задается в пространстве параметров совместным представлением совокупности физических свойств объекта и его топологии в виде графа или матрицы с указанием причинно-следственных связей между его физическими свойствами

Практически любую систему можно визуально представить в виде графа. К тому же теория графов представляет собой мощный математический аппарат для изучения и моделирования сложных систем. Рассмотрим, в чём может состоять, с точки зрения теории графов, отличие друг от друга вышеупомянутых систем. В живой системе, в отличие от технической, практически все элементы взаимосвязаны, и изменение в состоянии любого его элемента, так или иначе, отражается на изменении всех остальных. Таким образом, живую систему можно рассматривать как связный граф сильной связности (рис. 4).

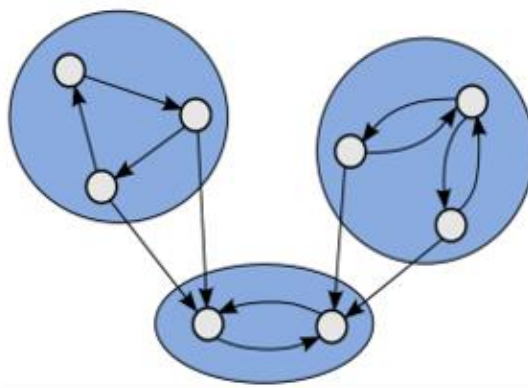


Рис. 4. Пример ориентированного графа с тремя компонентами сильной связности

В отличие от живой системы, техническая система, как правило, не обладает сильной связностью и состоит из различных компонент (подграфов) слабой связности. Граф экономической системы занимает промежуточное положение между двумя этими моделями. Таким образом, для всех трёх видов перечисленных систем общим для них является сетевая структура и возможность построения диагностических систем на основе их представления в виде графа или сетевой модели.

Наряду с топологическими моделями широкое распространение при решении задач технической диагностики получили **двузначные логические модели**. Они охватывают большой класс реальных технических объектов, представленных блочной функциональной или структурной схемами. При построении логической модели каждому функциональному элементу ставится в соответствие совокупность логических блоков так, чтобы выход каждого логического блока характеризовался только одним параметром. При этом в блоке оставляются только те входы, которые формируют данный выход.

Применение логической модели основывается на применении допусковых способов диагностирования. Последние характеризуются тем, что заключение о правильности функционирования объекта делается на основании качественной оценки некоторой совокупности диагностических параметров. Если значение сигнала находится в допустимых пределах, то значение данного выходного сигнала полагается равным 1, в противном случае – 0.

Подобная модель применима для диагностики как живой, так и технических и экономических систем. При их диагностике нахождение диагностических параметров в допустимых пределах может характеризоваться некоторой вероятностью. А так как взаимосвязи этих параметров образуют граф, то такого рода модель диагностики относится к классу графических вероятностных моделей, например, байесовской сети доверия (БСД).

6 Пример Байесовской сети доверия

В качестве примера рассмотрим результаты применения БСД в страховом бизнесе [10]. Образ объекта диагностики – модель оценки вероятности ожидаемого будущего страхового случайного события, что отражается на оценке нетто-тарифа для индивидуального договора рискованного страхования здоровья клиента.

В качестве основы для построения БСД, рассчитывающей нетто-тариф для индивидуального договора рискованного страхования здоровья взята Анкета застрахованного лица. В ней прописаны основные параметры, влияющие на вероятность наступления страхового события. Основными критериями, влияющими на наступление страхового события, являются: состояние здоровья застрахованного, класс его профессиональной деятельности, образ жизни, в том числе такие показатели как: курение, принятие алкоголя, увлечение опасными видами спорта. Кроме того, на его тарифную ставку влияют и такие факторы, как время действия покрытия по договору, так и возраст. Перечисленные критерии включены в основу построения БСД, и представлены в виде ее вершин, связанных между собой причинно-следственными зависимостями.

Таким образом, была построена сеть доверия (рис. 5), определяющая убыточность договора страхования. Сеть содержит вершины: "Курение", "Опасные виды спорта", "Работа", "Алкоголь", "Заболевания", "Возраст", "Количество застрахованных", "Время действия покрытия" и др. Каждая переменная может принимать вероятностное значение от 0 до 1.

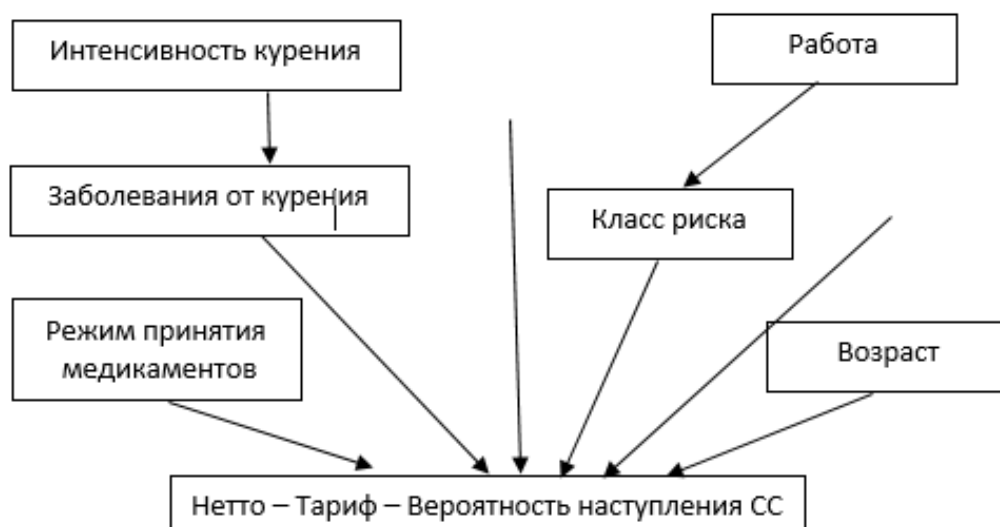


Рис. 5. Фрагмент сети доверия Байеса для расчета нетто-тарифа

Для практического применения в данной сети следует задать безусловные вероятности для каждой ее маргинальной вершины, а также условные вероятности для каждой подчиненной вершины. Безусловные вероятности зависят от параметров отдельного заключенного договора и содержат сводные данные по застрахованным лицам, получаемые на основе анкет застрахованных.

Условные же вероятности между связанными вершинами графа определяются экспертным путем в виде продуктивных правил. Приведем следующий пример. Так, одним из факторов, определяющих состояние здоровья застрахованного, а значит и риск наступления смерти по любой причине, является интенсивность курения. Чтобы определить вероятность наступления заболевания от интенсивности курения, необходимо ее задать в процентах (где 0% – "не курит", 100% - "курит 20 и более сигарет в день"). Затем выявить вероятность заболевания, основываясь на условных вероятностях отдельных факторов.

В зависимости от возможной интенсивности курения застрахованного рассчитывается вероятность заболевания по причине курения, которая влияет на вероятность наступления страхового случая, а, следовательно, и на убыточность по договору в целом.

Структура сети доверия Байеса, система из безусловных и условных вероятностей образована на основе базы знаний экспертной системы. Сеть доверия Байеса для экспертной системы диагностики убыточности договора страхования может быть реализована в системе Netica [11].

Стрелками показываем, какая вершина сети является родительской, а какая подчиненной (используя значок стрелки, находящийся на панели инструментов). Далее задаются таблицы, содержащие значения условных вероятностей для подчиненных узлов.

В зависимости от параметров заключаемого договора страхования и данных анкеты застрахованного, договор может иметь различные нетто-тарифы. Так, например, если заключен договор со временем действия страхового покрытия 24 часа в сутки, интенсивность курения застрахованного лица 35%, интенсивность принятия алкоголя 73%, застрахованное лицо занимается спортом, то нетто-тариф для расчета взноса по договору будет равен 0,0003457.

Модель для расчёта нетто-тарифа на основе байесовской сети доверия и реализованная в программном комплексе Netica, была применена в страховой компании "Альянс Жизнь" для подготовки предложений по реальным договорам страхования. На текущий момент нет разработок, которые применяют байесовские сети доверия в страховом бизнесе на российском рынке. Проверки модели, описанной в данной работе, подтверждают ее адекватность и возможность практического использования при проведении оценки рисков в страховых компаниях.

Выводы

1. Необходимо оформить и развить диагностику как разновидность научного познания, имеющего общие философские и научные подходы для выявления «болезней» больших систем.
2. Диагностика может основываться на системном подходе при выявлении и анализе «болезней» больших систем.
3. Необходимо разработать Классификатор «болезней» экономических систем
4. Графические вероятностные модели представляют собой наиболее широкий класс для создания диагностических моделей больших систем.

Литература

1. Кроткое, Е.А. Диагностика как универсальная форма научного познания (эпистемологический анализ) / Журнал «Вопросы философии». 2014, №3
2. Богомолов А.И., Невежин В.П., Жданов Г.А. Искусственный интеллект и экспертные системы в мобильной медицине / «Хроноэкономика», № 3 (11). С. 17-28.
3. Богомолов А.И., Невежин В.П. Мобильная персональная медицинская система для выявления предвестников кризиса сердечно-сосудистой системы / «Хроноэкономика», 2018. № 1 (9). С. 17-22.
4. Системный подход. URL: <https://studfiles.net/preview/2873524/page:35/> (Дата обращения: 02.04.2019)
5. Блауберг И.В., Юдин Э.Г. Становление и сущность системного подхода. - М.: Издательство «НАУКА», 1973
6. Международная классификация болезней (МКБ-10). URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=71591/> (Дата обращения: 02.04.2019)

7. Классификация дефектов. Методы, средства и последовательность дефектации. URL: <https://studfiles.net/preview/5853311/page:14/> (Дата обращения: 12.05.2019)
8. Классификация экономических систем. URL: <https://poisk-gu.ru/s32720t9.html> (Дата обращения: 12.05.2019)
9. Диагностические модели. URL: https://studref.com/395802/tehnika/diagnosticheskie_modeli (Дата обращения: 15.05.2019)
10. *Богомолов А.И., Невежин В.П.* Аксиоматическая вероятность и математическое моделирование экономических процессов. Труды Международной научно-практической конференции «Современная математика и концепции инновационного математического образования». - М.: Финансовый университет, 2018, с.149-163.
11. Netica. URL: <https://www.bantivirus.com/os-windows/1526488-netica.html>