

ГРАФО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ДИАГНОСТИРУЕМОГО ОБЪЕКТА

Игорь Арефиев, Теа Мунджишвили

Abstract: Авторы предлагают метод диагностики технического объекта, когда набор данных для оценки его состояния превышает известный экспертам множественный порог его характеристик. о состоянии исследуемого объекта даже при теоретической бесконечности исходных параметров. Метод основан на графо-аналитических представлениях и логико-вероятностной моделирование.

Keywords: диагностика, контроль, объект, граф, параметр, показатель, фактор.

Введение

Научно-технический прогресс в конце 20 века привёл к внедрению в практику судостроения и судоремонта новых методов организации производства с учётом прогресса в нанотехнологиях. Этот процесс стал заметен и в формировании судостроительных комплектов: энергетических установок, комплектующих материалов и изделий, систем навигации, деталей корпусов и отделки помещений, судовых средств погрузки и разгрузки. Указанный прогресс требует повышения уровня эксплуатационно-технических показателей качества всех судовых элементов. В связи с этим, расчётный срок службы судов и их элементов так же увеличивается. Согласно условиям эксплуатации, безопасности плавания и сроков гарантии, устанавливаются сроки технического осмотра. Ясно, что элементы судов и судовой техники изнашиваются неравномерно. С другой стороны, технический прогресс постоянно требует

замены оборудования и реновации любой конструкции даже между установленными периодами технических осмотров. Износа оборудования часто не совпадают с установленными сроками осмотров. В этих условиях наблюдается постоянный рост числа контролируемых параметров о состоянии объекта (судна) и его элементов. Следствием такого положения стало резкое увеличение числа контролируемых показателей качества любого элемента судовой техники. Здесь диагностика объекта сталкивается с „проклятием размерности”: любое сочетание исходных показателей вызывает лавинообразное (многосвязное) сочетание малозначных показателей с базовыми (основными). Тогда вывод о значимости конкретного показателя оказывается возможным только на экспертном уровне [6].

Здесь важно заметить, что экспертные заключения об основных и малозначимых показателях носят условный характер. На пример, при повышенных (пониженных) внешних температурах, критерий вязкости масла двигателя внутреннего сгорания важен, а в условиях обычной температур им можно пренебречь. Другой пример: колебания напряжения в сети освещения малозначны, а в системах навигационной автоматики весьма важны и требует специальной аппаратуры стабилизации. Анализ существующих методов контроля объектов по конечному множеству показателей показал их низкую эффективность [4].

Выявление новых показателей и характеристик определяет необходимость в дополнительном инструментарии повышения качества комплексного измерения их параметров. Традиционные средства алгоритмического моделирования подобных процессов (циклические и вложенные циклы) сталкиваются с размерность бесконечности и решить указанной задачи не могут. К этому добавим, что практически все оценки параметров носят вероятностный (статистический) характер. Они требуют постоянной коррекции

Так возникает проблема: разработать методологию оценки состояния диагностируемого объекта для набора его конечных факторов в условиях

выявленного множества его основных (базовых) и текущих (малозначных) показателей.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Анализ любого изделия начинается с выявления множества параметров, по которым необходимо оценить его состояние. Дать такую оценку на бесконечном множестве параметров для всех элементов судна нереально. Этот процесс зависит от степени изученности параметров, технических, теоретических и статистических вычислений, измерений и инструментальных средств определения реальной оценки каждого из них. Степень недостоверности измерений и вычислений параметра определено допусками (колебаниями) которые исследователь может принять за возможную ошибку (Δx_{ijf}). Обычно выбирают группу наиболее значимых параметров с их допусками: 5-7% от измеряемой величины. Их принимают за критерии оценки состояния объекта (показатель). Остальные же трактуются, как ограничения формируемой модели объекта. Такой подход приводит к тому, что нарушение любого ограничения рассматривается как факт неработоспособности объекта (брак, ненадёжность, низкое качество и т.п.). По правилам Теории Систем, такой объект (элемент, изделие) считается неэффективным [7, 8]. Искать на этом пути множество Парето не имеет смысла, т.к. оно само является подмножеством эффективных решений по x_{ij} (Рис.1).

Следовательно, найти оптимум качества объекта можно только по группам критериальных характеристик [1].

Остальные характеристики объекта определяют показатели, которые фиксируют факт неработоспособности, ненадёжности, отклонения контролируемой величины от заданной. Это вызывает отбраковку данного изделия. Здесь необходима декомпозиция структуры объекта (судна) и элементаризация изделий по контролируемым параметрам на каждом из уровней (фактор).

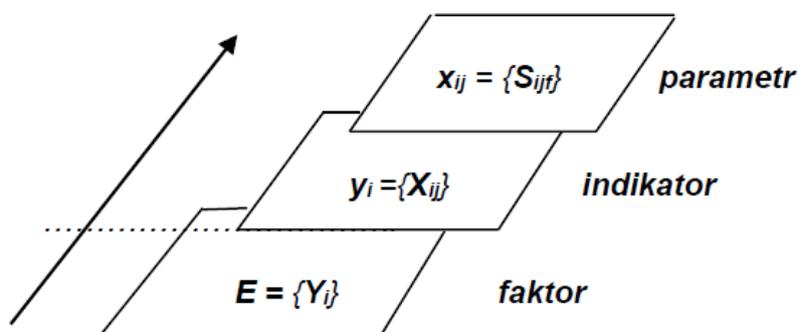


Рис. 1. Схема факторного анализа состояния объекта

На начальном уровне диагностики рассматриваются факторы (E), определяющие общее состояние объекта (судна). Ввод в модель конкретных факторов или их сочетания $\{Y_i\}$ задаёт Морской Регистр. При этом, все выбранные факторы считаются равно-важными. Такое решение выгодно отличает логико-рефлексивный метод от других методов, в том числе и логико-вероятностных. Он позволяет оперативно исключать (включать) дополнительные факторы при прогнозировании, избегая вероятностные оценки. Следующий этап декомпозиции относится к функциональным комплексам (X): силовая установка, палубное оборудование, навигационные системы, движительные системы и т.п. Наконец, диагностируются параметры конкретных устройств, элементов, блоков (S). На каждом из уровней допустима процедура замены, реновации, регуляции, если изделие не соответствует заданным техническим условиям. Указанные технические условия (размеры, характеристики, уровень износа) принимаются за эталон либо одного изделия, либо комплекса или конструкции в целом. Здесь важно отметить, что технология выбора характеристик элементов и обоснование их значений для Баз Данных на каждом уровне аналогична. В связи с этим остановимся на исходном уровне оценки состояния исследуемого объекта – организация контроля параметров отдельных изделий и деталей, составляющих комплексы и конструкции судна.

Эффективным способом решения таких задач диагностики можно считать семантическую сеть, когда для пары вершин i и j соответствует дуга величины $k(i,j) \in [0,1]$. Эта величина определяет степень принадлежности данной пары нечёткому отношению. В реальности, указанный процесс характеризует неполноту знаний субъекта, который осознаёт причинно-следственную связь $i - j$, но не может объяснить промежуточные звенья рассуждений. Интуитивно понятно, что между i и j существует множество подобных пар, но для их идентификации исследователь не обладает соответствующими знаниями и данными [2]. К тому же, семантическая сеть упрощённо носит линейно-плоский (двумерный) характер. В таких случаях формальная модель принимает вид

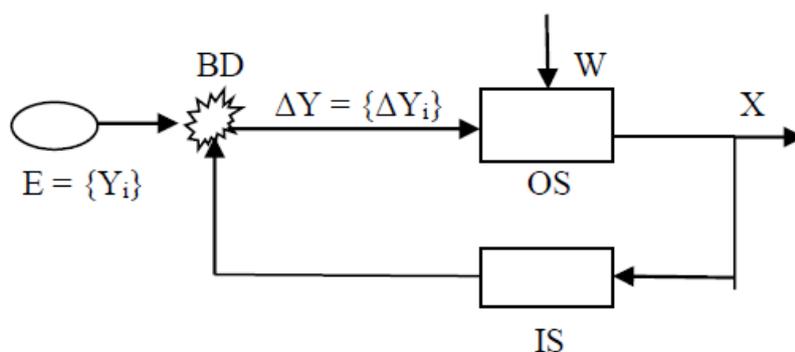
$$F = \langle S, Mr \rangle$$

где S – выявленное множество свойств объекта с конкретными значениями, а Mr – нечёткое отношение „причина – следствие” на множестве S . Семантика заключается в том, что если $z_i = (q_i, v_i)$, $z_j = (q_j, v_j)$, $(q_i, q_j) \in S$, $i \neq j$, когда v_i, v_j – значения свойств q_i, q_j то для каждой пары (z_i, z_j) соответствует число $k(z_i, z_j) \in [0,1]$, определяющее степень принадлежности пары нечёткому отношению.

Вместе с тем, отказавшись от строгого математического решения при многопараметрической оценке состояния объекта, логично ввести в модель некоторую систему условных кодов. Тогда каждый известный или потенциально допустимый параметр считается равноценным в представлении показателей состояния объекта [5]. Качество состояния объекта будет определено по конечному множеству его показателей в соответствии с обоснованным эталоном. Данное кодирование следует заложить в модель выявленных групп параметров x_{ij} как некоторую совокупность показателей Y_i . Следовательно, эталонным можно считать такое состояние объекта (изделия), когда все его факторы E выявлены и однозначно соответствуют системе заданных показателей y_i . В основу приведённого вывода положены рассуждения, основанные на модифицированной схеме N.Viniera (Рис.2).

Действительно, если за объект диагностики принимается некоторая система (OS), то не трудно определить эталон её состояния E в каждый момент времени или на определённом интервале его эксплуатации.

В реальных процессах управления и За такой эталон можно принять набор заранее заданных или рассчитанных факторов $E = \{Y_i\}$ ($i = 1, l$). Они имеют фиксированные значения: l – число обоснованных факторов оценки состояния объекта прогнозирования нет смысла давать вероятностную оценку этим значениям [3]. Любое отклонение от эталонного ($+\Delta y_i, -\Delta y_i$) есть ошибка, снижающая качественную характеристику элемента по отношению к эталону. Она должна учитываться как расчётная величина, полученная на основании оценок X, S . Она принимает абсолютное значение $y = |y - \Delta y_i|$. Для этого следует определить группу показателей y_i ($y_i = \{X_{ij}\}, j=1, J$), формирующих данный объектный фактор и дать ей оценку по каждому из показателей y_i .



OS – объект управления

E – эталон (модель) объекта управления

BD – блок принятия решения о состоянии объекта

IS – информационно - измерительная система

W – внешние воздействия среды на объект

Рис. 2. Модифицированная схема N. Viniera

Проявление любой совокупности ΔY , полученной по данным IS трактуется как нарушение условия E и требует соответствующей реакции BD в оценке состояния OS. Следовательно, необходимо в оценку каждого из показателей X_{ij} ввести конечное множество групп параметров S_{ijf} , когда $x_{ij} = \{S_{ijf}\}$ при $f = 1, F$, где F – число исходных параметров оценки состояния объекта (База Данных). На этом уровне конкретный параметр рассматривается как величина измерения (вычисления). Она оценивается по реальным выходным показателям функционирования объекта на данный момент или за установленный промежуток времени (интервала контроля, периода прогнозирования, времени жизни объекта и т.п). Здесь нужно указать, что показатели о состоянии объекта должны быть обоснованы измерениями параметров, показаниями датчиков или документированной информацией с числовыми значениями.

Примем за меру качества объекта результат сравнения процедур последовательной оценки фиксированных групп параметров, показателей и факторов данного с их эталонными, установленными заказчиком (пользователем).

ГРАФО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД ДИАГНОСТИКИ ОБЪЕКТА

С позиции Теории систем, за эталон состояния диагностируемого объекта можно принять комплекс факторов, свободных от ошибок (отклонений) их показателей и параметров. Они прошли контрольные процедуры, т.е. $\Sigma \Delta Y_i = 0$. Утверждение справедливо при $W=0$ (Рис.2). Здесь сразу возникает смысловая проблема. Элементы, составляющие анализируемую систему (производство, процесс, управление и т.д.), практически всегда имеют разную физическую природу, измерительные характеристики, методы определения и контроля. Это чётко проявляется даже в элементарных системах массового производства микросхем, метиза, крепежа и т.д. Следовательно, схема оценки факторов показатель – параметр по принципу допусков, вероятностных условий, статистических расчётов носит приблизительный характер. При этом, методы многофакторного анализа слишком громоздки и сложны для простых объектов, выпускающих малоценную продукцию. Но уже на следующем

шаге оценки состояния объекта задача усложняется: каждый из параметров может сохранять своё постоянное значение, но только в пределах частной задачи. Переход к другому варианту выпуска продукции или при изменении задачи (переналадка оборудования, смена инструментария), параметр, как правило, меняет своё значение. На пример, чистота поверхности при обработке вала для контрольно - измерительной аппаратуры является основным параметром, а при производстве редукторов носит второстепенный характер.

Понятно, что ошибка измерения присутствует в обоих вариантах приведённого примера и не может быть нулевой ($\Delta \neq 0$). Поэтому она всегда учитывается, как отрицательная ошибка в оценке как данного показателя, так и параметра (фактора). Не трудно сделать вывод, что оценка состояния любого объекта или технологического процесса представляет собой тернарную систему последовательных операций, которую схематично можно представить в виде линейного алгоритма (Рис. 1).

Однако, утверждать, что совокупность показателей Y есть эталон E в такой интерпретации не справедливо. Каждый Y_i характеризует конкретную группу Y_i ($i=1, l$). Эти группы разномерны по шкале измерений физических, экономических, информационных и др. факторов. Для наиболее эффективного результата принятия решения в BD о состоянии объекта необходимо изменить систему кодирования исходных данных по факторам и привести их к единой логике параметрического представления. В такой интерпретации и рассмотрим двух-шаговую процедуру реализации указанного предложения:

1. Логика системного анализа диктует условие многофакторности объектов и явлений. Тогда исследователь находится в весьма трудном положении. Учесть все возможные факторы оценки объекта нереально из-за невозможности сформировать многофакторную Базу Данных из-за ограниченного объёма знаний, парка контрольно-измерительной техники, отсутствия методов и средств вычислений ($S \in X, X \in Y, Y \in E$). К тому же факторы могут быть различной природы и противоречивы: безопасность,

экономика, экология и т.п. Необходимо ввести относительную меру для каждого из множества известных для данного объекта значения S , X , Y по условной шкале измерения ($0 \leq E \leq 1$).

Предположим, что известно (вычислено, установлено) эталонное значение каждого параметра S_{ijf} в последовательности $s_{ij1}, s_{ij2}, s_{ij3}, s_{ij4}, \dots, s_{ijF}$ ($f=1, F$). Если значения параметров S располагать линейно по временной оси абсцисс, а величины показателей X – на оси ординат, то они сольются в неупорядоченную прямую линию. Их сравнимость на уровне факторов E окажется случайной. Плоско-парное расположение параметров X даёт адекватную оценку только для данной пары показателей и не решает задачу оценки состояния объекта через характеристики групп по фактору E в целом [9].

Будем считать, что в оценке качества объекта каждый выявленный параметр равноважен по отношению к другим при оценке показателя j . Тогда можно перейти от абсолютной шкалы их представления к относительной (единичной) форме:

$$\begin{array}{l} S_{ijf} \longrightarrow 1,0 \\ S''_{ijf} \longrightarrow Z \end{array}$$

Решив традиционное уравнение перехода к относительной шкале, получим значение каждого параметра на единичной шкале измерения:

$$Z_{ijf} = S''_{ijf} \cdot 1,0 / S_{ijf}$$

2. Представим полученные результаты в табличной форме. Примем её за Базу Данных для оценки состояния объекта по параметрическому анализу (Таблица 1). Данные Таблицы 1 подразумевают конечность числа параметров S_{ijf} в каждой группе показателей X_{ij} .

Table 1. База Данных оценки состояния объекта по параметрам

№	Параметр (s_{ijf})	Код параметра	Абсолютное значение	Относительное значение
1	2	3	4	5
1	Определение параметра s_1	ij1	s_{ij1}	Z_{ij1}
2	Определение параметра s_2	ij2	s_{ij2}	Z_{ij2}
3	Определение параметра s_3	ij3	s_{ij3}	Z_{ij3}
...
f	Определение параметра s_f	ijf	s_{ijf}	Z_{ijf}

Следует заметить, что в предлагаемой модели любое отклонение параметра X_{ij} ($\pm \Delta X_{ij}$) указывает на снижение качества показателя и фактора состояния объекта в целом [7]. Тогда модель состояния объекта может быть представлена набором значений групп параметров и показателей, составляющих систему оценки принятия решения по конечному множеству факторов [3]. На пример, если конкретный показатель оценивается по 8 параметрам, то распределим их равномерно по окружности (45^0). Длина каждого вектора соответствует величине параметра по относительной (единичной) шкале измерения (Рис.3). Следовательно:

$$r = 1,0; D = 2,0; L = 2\pi, P = \pi$$

Можно утверждать:

1. Чем больше изучен элемент (изделие, объект), тем больше векторов в единичной окружности.
2. Длина каждого вектора определяется текущим значением параметра.

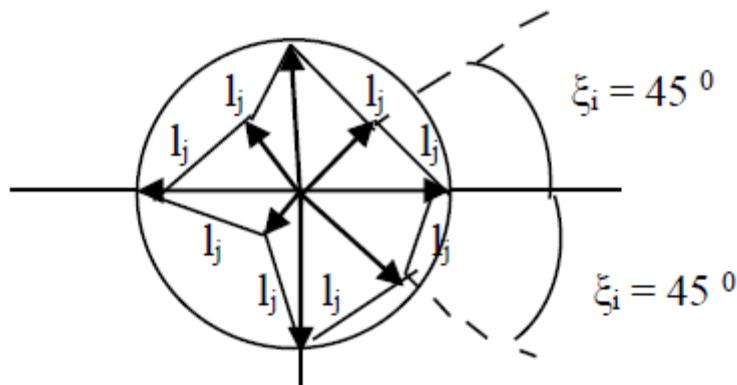


Рис. 3. Пример графо-аналитической модели оценки состояния объекта

3. Чем больше вектор, тем ближе объект по параметру S_{ijf} к эталонной оценке ($S_{ijf} = 1$).

Рассуждая подобным образом, установим, что при $x_{ij} \rightarrow \infty$ качество состояния элемента объекта теоретически может быть установлено с вероятностью $P = 1,0$ как по совокупности параметров, так и по производным от него показателям y_i и фактору E . Это решение так же эффективно для моделирования состояния объекта при внезапном отказе (полном или частичном) одного из его элементов. Достаточно либо исключить вектор – показатель l_j данного элемента, либо уменьшить этот вектор на соответствующую величину (Рис. 3).

Для оценки состояния объекта в целом, достаточно соотнести теоретическую длину единичного круга L^0 с длиной ломаной линии, соединяющей вершины векторов реальной оценки параметров (L_f):

$$L^0 = \pi D = 3,14 \cdot 2 = 6,28$$

$$L_f = \sum l_{ijf} \quad (f = 1, F)$$

Рассуждая подобным образом, получим гиромат (Рис.4).

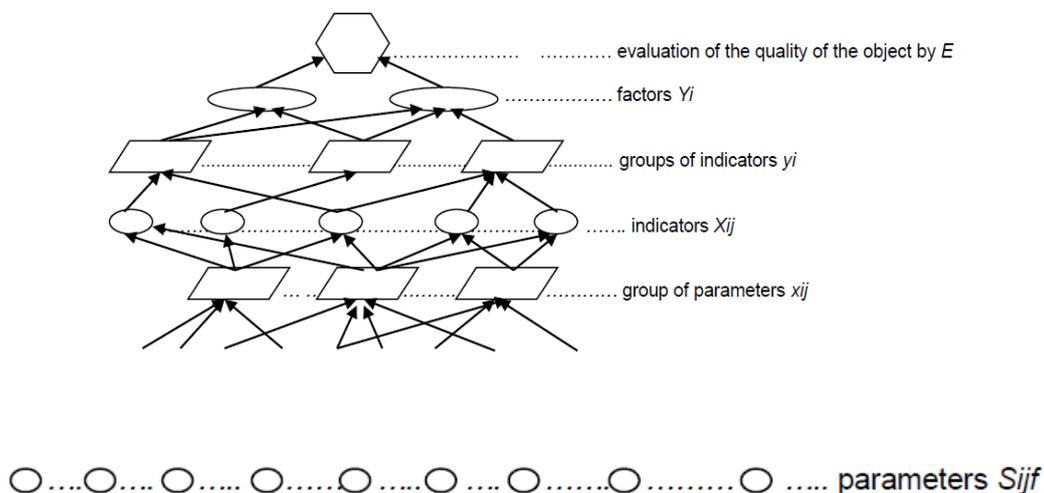


Рис.4. Гиромат состояния объекта управления

Основываясь на логике гиромата, по единичной шкале диагностируется объект как в целом, так и на каждом из его уровней:

$L^0 = 6,28$ – абсолютный эталон качества исследуемого объекта.

$L^0 - L_{ij} = \Delta L_{ij}$ – параметрическая мера состояния исследуемого объекта.

$L^0 - L_i = \Delta L_i$ – показательная мера состояния исследуемого объекта.

$L^0 - L_E = \Delta L_E$ – факторная мера состояния исследуемого объекта

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, для каждого объектного фактора, учитывая его оригинальность (специфику), можно графо-матричным способом дать вполне обоснованную оценку объекту или изделию по совокупности его

выявленных и вычисленных параметров (показателей). При этом, поступая аналогичным образом, когда удаётся обосновать меры и характер различных факторов состояния объекта, вполне допустимо провести и его многофакторный анализ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Арефьев И.Б., Коровяковский Е.К. Принцип распознавания проблемных ситуаций на базе интегральных характеристик // Гибридные и сенергетические интеллектуальные систем.2016. Калининград, Изд-во БФУ им. Канта. С. 206-217.
- [2] Арефьев И.Б. Логико-рефлексивное представление моделей древовидных структур. // Системный анализ в проектировании и управлении. 2014. СПб, Изд-во СПГТУ. С. 56-60.
- [3] Ariefiew I. Forecasting and control object of management in the environment of system PERT. Maritime University, Szczecin., Biblioteka cyfrowa., 2012.. 293 p.
- [4] Арефьев И.Б. Элементы метода логико-рефлексивного моделирования. Из-во „LAMBERT akademik publishing”, Riga. 2019. 68 p.
- [5] Карпов А.В. Психология рефлексивных механизмов деятельности. // М. Изд-во «ИП РАН», 2004.- 31 с.
- [6] Кант Э. Критика чистого разума. М: Мысль. Соч. том 3. 1964,]. [7] Чебышёв П.Л. Полное собрание сочинений.— Изд-во АН СССР, 1948.— Т.III.— С. 404
- [8] Мунджишвили Т., Логико-вероятностная модель оценки финансового состояния предприятия, Труды Тбилисского Университета, прикладная математика и компьютерные науки, #364 (24), стр. 216-229, Тб., 2005
- [9] Jack Heidel; Zhang Fu (1999). “Nonchaotic behaviour in three-dimensional quadratic systems II. The conservative case”. Nonlinearity.12(3): 617 – 633

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРОВ

Igor Ariefjew – Maritime University. Szczecin, Poland; e-mail: i.aeriefiew@am.szczecin.pl.

Tea Munjshvili – Tbilisi state university; e-mail:

**GRAPH-ANALYTICAL METHOD FOR ASSESSING THE STATE OF THE
OBJECT BEING DIAGNOSED**

Igor Ariefjew, Tea Munjshvili

Abstract: *The authors propose a method for diagnosing a technical object when the data set for assessing its state exceeds the multiple threshold of its characteristics about the state of the object under study known to experts, even with the theoretical infinity of the initial parameters. The method is based on graph-analytical representations and logical-probabilistic modeling.*

Keywords: *diagnostics, control, object, graph, parameter, indicator, factor.*