

## МЕТОДИКА СИНТЕЗА УЛЬТРАОПЕРАТОРА АНАЛИЗА СОСТОЯНИЯ СЛОЖНЫХ ОБЪЕКТОВ В НЕШТАТНЫХ СИТУАЦИЯХ

Галаев Сергей Алексеевич,

канд. техн. наук, доцент кафедры математики и информатики,

e-mail: galaev.sergey@mail.ru,

Московский университет имени С.Ю. Витте, г. Москва, Россия,

Военная академия РВСН имени Петра Великого, г. Балашиха, Россия

*В статье на основе информационного подхода предложена методика синтеза ультраоператора анализа состояния сложных объектов в условиях информационной избыточности с применением положений математической информатики с целью решения проблемы обработки больших объемов данных в нештатных ситуациях.*

**Ключевые слова:** ультраоператор, сведение об объекте, информация, совместная обработка, регуляризация, информационная избыточность, нештатная ситуация

DOI 10.21777/2500-2112-2018-1-49-55

Современный этап развития передовых технологий привел к появлению особенных объектов, с которыми приходится иметь дело в любой сфере жизнедеятельности человека. Примерами таких объектов могут быть различного рода робототехнические системы, способные к самостоятельному выбору своего поведения, функционирующие в условиях воздействия факторов различной природы, представляющие собой непредсказуемые, интеллектуализированные системы, обладающие «техническим зрением», использующие навигационные карты для ориентации в пространстве.

В процессе работы таких систем необходимо также осуществлять контроль их текущего состояния с целью его определения и дальнейшего учета при управлении данными системами. Для этой цели существуют системы оценивания состояния объектов. Необходимо учитывать, что системы оценивания состояний именно таких объектов должны иметь намного больше степеней свободы по сравнению с объектом, подвергаемым контролю, т.е. быть интеллектуальнее, что способствовало бы парированию возникающих при контроле неопределенностей. При этом говорить целесообразнее об определении функциональных состояний таких систем. Под функциональным состоянием будем понимать категорию, отражающую способность системы выполнять заданные функции с требуемым качеством. Например, состояние  $s_1$  – способность робототехнической системы выполнять задачи по целевому предназначению.

Традиционная постановка задачи определения состояния объекта контроля представлена в [4]. Однако перечисленные выше особенности современных робототехнических систем являются дополнительными факторами, приводящими к повышению вероятности возникновения нештатных ситуаций (НШС). Методом решения НШС является метод регуляризации задачи, т.е. привлечение дополнительной информации об искомом решении. Именно при возникновении НШС система оценивания состояния вынуждена функционировать в условиях информационной избыточности – речь идет о гигабайтах совершенно разнородной, разноплановой, разноформатной, информации, получаемой от различных источников и обладающей различным качеством [2]. Возникает проблема обработки и анализа больших объемов данных с целью выбора дополнительного источника информации, обеспечивающего решение задачи оценивания состояния сложной системы с требуемым качеством.

Наличие такого огромного и разнопланового объема информации переводит ее в разряд так называемых данных «Big Data» – больших данных, что ставит под сомнение работоспособность системы оценивания состояния таких сложных систем. Возникающие в этом случае проблемные вопросы, такие как обеспечение требуемых критериев по оперативности, достоверности и информативности не могут быть решены, так как сама задача оценивания состояния переходит в совершенно другой класс задач – NP-полных, т.е. задач, которые не решаются простым перебором.

При работе с большим объемом данных применяется известный метод, основанный на положениях математической информатики [1, 6], связанный с представлением получаемых измерений в виде информации о них с определенной достоверностью.

В условиях наличия огромных объемов разнородных не только традиционных данных, поступающих с сенсоров робототехнических систем, но и с учетом нетрадиционных: о метеоусловиях, фото- и видеоданных, о режимах работы, корректности выполнения заложенной программы действий и т.д., целесообразно воспользоваться данными положениями и теорией ультрасистем [5]. Тогда постановка задачи выглядит следующим образом.

Дано: 1. На базе опорных множеств  $X, Y$  заданы ультрамножества возможных состояний  $X^*$  и признаков состояний  $Y^*$  с комплексными ультраоснащениями как декартовы произведения соответствующих опорных множеств, решеток понятий и достоверностей

$$X^* = D_x \times P_x \times X;$$

$$Y^* = D_y \times P_y \times Y.$$

2. Ультраоператор контроля объекта в виде

$$C^* : X^* \rightarrow Y^*,$$

отображающий информацию о состояниях объекта в информацию о наблюдаемых признаках соответствующих состояний

$$J_x(x_0) \rightarrow J_y(y_0),$$

где  $J(x) = F[\Delta(x_0)]$ ,  $J_y(y_0) = F[\Omega(y_0)]$  – результаты логической обработки соответствующий данных.

3. Заданы структуры данных в виде

$$\Delta(x_0) = \{(\mu)\delta(x_0)\} \subset X^*, \quad \Omega(y_0) = \{(\mu)\beta(y_0)\} \subset Y^*.$$

4. Известно множество регуляризаторов – операторов со значениями в  $S$ :

$$\{R\} : U \rightarrow X$$

для некоторого вспомогательного множества  $U$ . При этом  $\{R\} \rightarrow \infty$ .

5. Показатели и критерии:

Оперативность –  $T \leq T_{\text{треб.}}$

Достоверность –  $D \geq D_{\text{треб.}}$

Информативность –  $Q \geq Q_{\text{треб.}}$

Требуется: синтезировать ультраоператор анализа

$$C^{-1*} : J_y(y_0) \rightarrow J_x(x_0)$$

как оператор отображения информации о признаках состояний в информацию о состояниях объекта анализа, удовлетворяющее заданным критериям. Другими словами, необходимо сформировать из множества всевозможных регуляризаторов  $\{R\}$  подмножество  $\{R^*\}$  регуляризаторов, удовлетворяющее заданным критериям.

Рассмотрим пути решения поставленной задачи. При этом будем учитывать, что модель технологии будет представлять собой совокупность некоторых процессов обработки информации, объединенных общей целью, заданной соответствующими показателями. Примем также, что оперативность анализа достигается путем его автоматизации, а достоверность и информативность являются непротиворечивыми требованиями.

Пусть задан оператор контроля в виде  $Cx=y$ , на основе которого построен ультраоператор  $C^* : X^* \rightarrow Y^*$ , отображающий информацию о причинно-следственной связи  $X \rightarrow Y : J_x(x_0) \rightarrow J_y(y_0)$ . Тогда анализатором является ультраоператор  $C^{-1*} : J_x(x_0) \leftarrow J_y(y_0)$ , отображающий информацию о следствиях в информацию о причинах, их порождающих, при условии, что уравнение контроля  $Cx=y_0$  имеет единственное решение  $x_0$ . Если информации  $J_x(x_0)$  и  $J_y(y_0)$  заданы совершенными носителями  $\Delta(x_0)$ ,  $\Omega(y_0)$ , состоящими из сведений  $\delta(x_0)$ ,  $\beta(y_0)$ , определенных на соответствующих решетках понятий  $P_x$ ,  $P_y$  с образующими  $\Pi_x$ ,  $\Pi_y$  и атомами  $\lambda \subset \Pi$ , то условие ультраанепрерывности выполняется и существует единственное решение  $x_0$ . Однако, в силу специфики обратных задач и влияния различных источников некорректности и, как следствие, проявления НШС, носитель информации  $\Delta(x_0)$  не является совершенным (насыщенным). Поэтому требуется введение специального оператора – регуляризатора  $R : U \rightarrow X$  для базового оператора  $C : X \rightarrow Y$  в точке  $x_0 \in X$ , если определено множество  $G \subset U$  такое, что  $R(G) = K$ , где  $K$  – множество корректности по А.Тихонову. При этом элементы  $u \in U$  – так называемые управления

или параметры регуляризации. Элементы  $x \in X$  вида  $x = Ru$  являются регуляризованными. Уравнение контроля  $Sx = y$  представляется в этом случае в виде  $Sru = y$ ,  $u \in G$ ,  $y \in Y$  с прежней правой частью. Тогда по каждому сведению  $\beta(y_0) \in \Omega(y_0)$  будем искать сведение  $\delta(x_0) \in \Delta(x_0)$  уже среди регуляризованных элементов, для чего достаточно целенаправленно менять управления в области  $G \subset U$  с тем, чтобы  $Sru \in \beta(y_0)$ . Регуляризованные элементы  $\delta = \{x = Ru : Cru \in \Omega(y_0)\}$  будут образовывать в совокупности так называемый совершенный носитель информации о решении  $x_0$ , а семейство отдельных операторов  $\{r\}$  будет определять ультраоператор анализа  $S^{-1*}$ . Таким образом, решение задачи достигается целенаправленным привлечением таких дополнительных сведений, добавление которых к имеющейся информации о точке  $x_0$  полностью задавало бы эту точку. Для решения задачи требуется осуществить выбор регуляризатора как множества дополнительных сведений о решении и определить порядок их использования – параметры регуляризации. Следует отметить, что привлечение дополнительного сведения для формирования насыщенного носителя информации целесообразно только тогда, когда оно может быть сравнимо с имеющимися, т.е. они относятся к одному и тому же объекту  $\delta \subset X$ . При этом сравнение может вестись как по общности, так и по достоверности. Таким образом, для формирования насыщенного носителя информации требуется осуществить выбор дополнительных сведений из огромного их разнообразного количества, привести их к единой шкале сравнения.

Необходимо учитывать, что:

- для решения задачи необходимо определить одну или несколько шкал сравнения, на которых сведения могут быть сравнимы по какому-либо признаку. При этом основной шкалой выступает шкала образующих решетки входного ультрамножества, а остальные выступают в качестве промежуточных. Предполагается, что среди промежуточных шкал основное место должна занять шкала, формируемая непосредственно из опыта по результатам контроля объекта. В терминах проведенной постановки задачи в качестве шкал выступают образующие решетки. Следует отметить, что требование эквивалентных шкал справедливо для сравнения сведений, как по общности, так и по достоверности;

- привлечение дополнительного сведения для формирования насыщенного носителя информации целесообразно только тогда, когда оно может быть сравнимо с имеющимися, т.е. они относятся к одному и тому же объекту  $\delta \subset X$ . При этом сравнение может вестись как по общности, так и по достоверности.

Рассмотрим пример реализации данных правил.

Пусть о некотором объекте известно сведение  $\delta_1(x_0) = \{\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5, \lambda_6, \lambda_7\}$  с решеткой достоверности, заданной в нечетком виде на дискретной шкале (рисунок 1). При этом это сведение является базовым и накладывает ограничения на возможные результаты решения (например, множество состояний объекта контроля, виды робототехнических систем и т.д.). При этом элементы шкалы выражены на естественном языке в виде понятий. Таким образом, областью определения возможных решений задачи контроля будет область, обозначенная на шкале фигурными скобками.

Известен [3] метод синтеза ультраоператора для решения задачи анализа (определения атома решетки  $P_x$ ) с учетом возникающей неопределенности за счет различных факторов. Особенностью предложенного в [3] метода синтеза ультраоператора анализа является представление всех сведений об объекте на соответствующих решетках понятий с решетками достоверностей, заданных в нечетком виде функциями принадлежности на непрерывной шкале. Задача решается в условиях неопределенности,

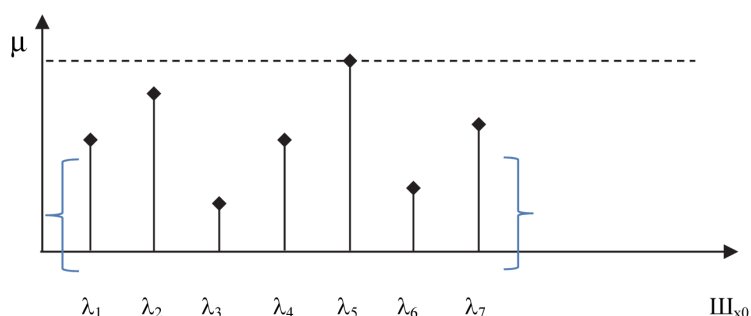


Рисунок 1 – Базовое сведение с решеткой достоверности, заданной в нечетком виде

когда информации для принятия решения не хватает, по одним и тем же полученным признакам контроля не может быть принято устойчивое решение. При этом формируется базовое сведение, указывающее область определения возможных решений. Суть метода заключается в реализации оператора конъюнкции (дизъюнкции) сведений, что в математической информатике равносильно нахождению минимума (максимума) функции при пересечении сведений. Путем сужения области поиска (в конечном счете, до точки) в рамках ограничений области определения находится устойчивое решение задачи анализа.

Однако интерес представляет вопрос решения задачи анализа объекта при возникновении нештатных ситуаций (НШС) в условиях, когда объемы дополнительно привлекаемой информации велики, т.е. в условиях информационной избыточности. Под НШС в данном случае будем понимать ситуацию, при которой по результатам контроля определяется атом (атомы) шкалы понятий  $\lambda_{\text{ншс}}$  соответствующей решетки понятий  $P_x$ , такой (такие) что  $\lambda_{\text{ншс}} \notin \delta_{\text{арг}}(x_0)$ . При этом сведения об объекте задаются в нечетком виде на дискретной шкале понятий.

Пусть по результатам контроля получено сведение об объекте (рисунок 2):

$$\delta_k(x_0) = \{\lambda_8, \lambda_9, \lambda_{10}\}.$$

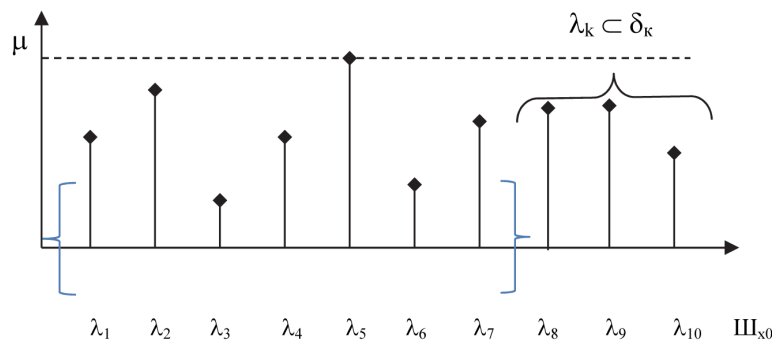


Рисунок 2 – Распределение достоверностей на шкале

При этом достоверность высказывания «Состояние объекта принадлежит атому  $\lambda_k$ » равны:

$$\begin{aligned} \mu(\lambda_8/x_0) &= 0,8; \\ \mu(\lambda_9/x_0) &= 0,8; \\ \mu(\lambda_{10}/x_0) &= 0,6. \end{aligned}$$

Тогда, следуя известному методу, получаем:

$$\delta_{\Sigma}(x_0) = \delta_1(x_0) \cap \delta_k(x_0) = \{\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5, \lambda_6, \lambda_7\} \cap \{\lambda_8, \lambda_9, \lambda_{10}\} = \emptyset.$$

Налицо отсутствие решения (множества не пересекаются – решений нет), классифицируемое как появление НШС.

Таким образом, пространство возможных решений расширяется, выходит за априорные ограничения по области определения, в решетке понятий добавляются дополнительные атомы  $\lambda_8, \lambda_9, \lambda_{10}$ .

Требуется решить задачу анализа и определить методом регуляризации устойчивое решение. По результатам контроля имеем факт реализации атома  $\lambda_9$  или  $\lambda_8$ , так как операции пересечения в теории нечетких множеств соответствует операция  $\min$ , а операции объединения –  $\max$ , то достоверность сведения определяется как

$$\mu(\delta_k) = \max [\mu(\lambda_k, x_0), \lambda_k \subset \delta_k].$$

В результате задача анализа однозначно не решена в силу невозможности принятия однозначного решения. Требуется регуляризовать задачу. При этом следует понимать, что привлекаемые дополнительные сведения могут способствовать определению как апостериорно полученных атомов  $\lambda_8, \lambda_9, \lambda_{10}$ , так и априорно заданных  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5, \lambda_6, \lambda_7$ .

С целью регуляризации данной задачи допустим, что об объекте  $x_0$  получено следующее дополнительное сведение:

$$\delta_2(x_0) = \{\lambda_8, \lambda_9\}$$

с соответствующими значениями достоверности, равными 0,8 и 0,2 соответственно (рисунок 3).

Дополнительное сведение изменяет априорное распределение и формирует вторичное распределение достоверностей (рисунок 4):

$$\delta_{\Sigma 1}(x_0) = \delta_{\Sigma}(x_0) \cap \delta_2(x_0) = \{\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5, \lambda_6, \lambda_7, \lambda_8, \lambda_9, \lambda_{10}\} \cap \{\lambda_8, \lambda_9\} = \{\lambda_8, \lambda_9\}.$$



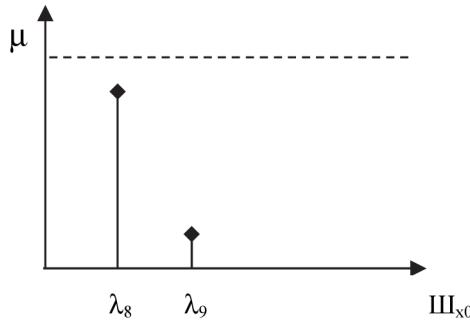


Рисунок 3 – Дополнительное сведение

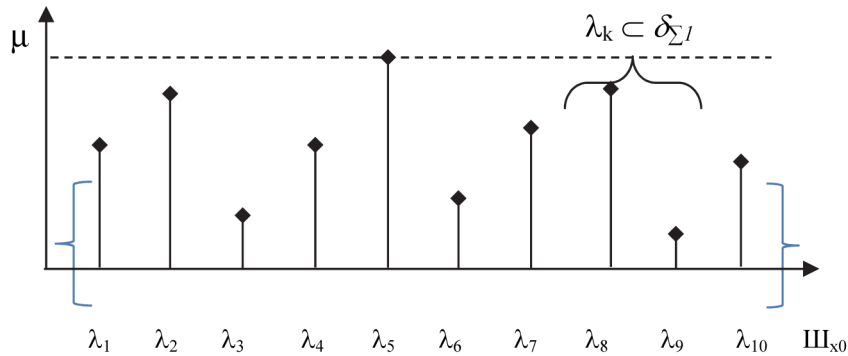


Рисунок 4 – Вторичное распределение

При этом количество информации  $J_k$ , полученной по  $k$ -тому элементу шкалы, может быть рассчитано следующим образом [3]:

$$J_k = n \cdot Napr - \sum_{i=1}^n Naps_i,$$

где  $Napr$ ,  $Naps_i$  – априорная и апостериорная неопределённости,  $n$  – число сведений, относящихся к  $k$ -тому элементу шкалы.

Следовательно, количество информации об элементе шкалы определяется в первую очередь числом относящихся к нему сведений, и во вторую – распределением достоверностей.

Количество информации, получаемое на верхнем уровне иерархии, будет являться суммой информации, получаемой из различных сведений:

$$J_{\Sigma} = J_{\text{дон1}} + J_{\text{дон2}} = \{H[X(x_0)] - H[\delta_2(x_0)]\} + \{H[X(x_0)] - H[\delta_3(x_0)]\}.$$

Таким образом, осуществляется формирование насыщенного носителя информации  $\Delta(x_0)$  за счет синтеза ультраоператора под задачу.

Общая схема решения задачи представлена на рисунке 5.

Приведем общую методику синтеза ультраоператора анализа при возникновении НШС:

1. Выявление признака возникновения НШС путем сравнения полученного в результате контроля и априорно заданного сведений (сравнение по общности).
2. Расширение области определения возможных решений (подмножества  $\delta \subset X$ ).
3. Привлечение дополнительного сведения.
4. Определение иерархического уровня, способа задания дополнительного сведения (тип шкалы: дискретная или непрерывная).
5. Определение общности привлекаемой информации: числа элементов решеток сведений, относящихся к каждому атому верхней решетки (релевантности привлеченного сведения).
6. Определение достоверности привлекаемой информации.
7. Определение количества информации, принесенного дополнительным сведением.
8. Определение соответствия привлекаемого сведения (вносит изменения или нет, какое количество информации приносит).

9. Принятие решения о включении привлеченного дополнительного сведения в процесс формирования насыщенного носителя информации.

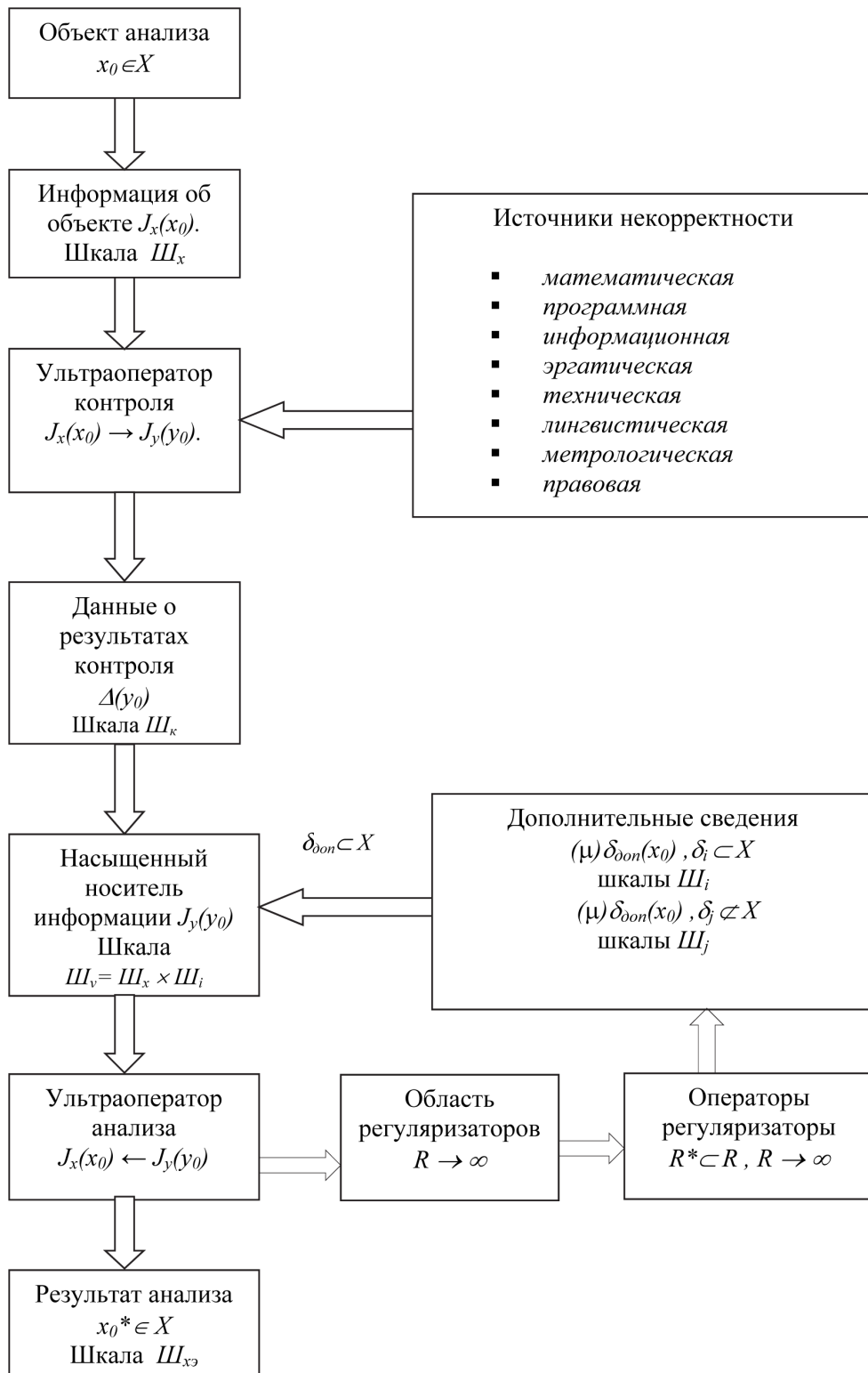


Рисунок 5 – Общая схема решения задачи анализа

В результате регуляризации должна быть решена задача идентификации НШС или классификации. При этом в случае небольшого количества дополнительных источников информации задача может быть решена путем простого перебора. Если источников дополнительной информации большое количество, стремящееся к бесконечности, то требуется проведение дальнейших исследований по выбору наиболее релевантных в соответствии с обозначенными критериями.

Таким образом, с практической точки зрения предложенная методика позволит решать задачу оценивания состояния сложных объектов при возникновении нештатных ситуаций в условиях информационной избыточности. При этом за счет использования положений математической информатики, теории ультрасистем предоставляется возможным привести информацию любого вида к единому виду, представив ее на соответствующих шкалах с решетками достоверностей.

С точки зрения науки предложенная методика вносит вклад в теорию контроля сложных объектов в нештатных ситуациях.

### Список литературы

1. *Андрашитов Д.С. и др.* Модели и технологии управления в социально-экономических системах: монография / Д.С. Андрашитов, С.А. Галаев, М.А. Зайцев, И.М. Казеев, С.Н. Маликов, А.С. Рудько, И.Е. Сафонова, Г.Г. Тельнов. – М.: Московский университет им. С.Ю. Витте, 2017.
2. *Галаев С.А.* К вопросу повышения качества оценивания состояния сложных технических систем в условиях информационной избыточности. Нейрокомпьютеры и их применение: тезисы докладов. 2017. – С. 54.
3. *Кукушкин С.С., Потюпкин А.Ю., Антипов В.А.* Метод построения ультраоператора комплексной обработки информации дистанционного мониторинга // Измерительная техника. – 2009. – № 8. – С. 31.
4. *Потюпкин А.Ю.* Научно-методические основы решения задач анализа состояния объектов ракетно-космической техники в условиях неопределенности: монография. – М.: ВА РВСН им. Петра Великого, 2003.
5. *Потюпкин А.Ю., Чечкин А.В.* Интеллектуализация сложных технических систем: монография. – М.: ВА РВСН им. Петра Великого, 2013.
6. *Чечкин А.В., Пирогов М.В.* Интеллектуализация сложной системы как средство обеспечения ее информационно-системной безопасности // Фундаментальная и прикладная математика. – 2009. – Т. 15. – №3. – С. 225–239.

### THE TECHNIQUE OF SYNTHESIS OF ULTRAPURITY ANALYSIS OF COMPLEX OBJECTS IN ABNORMAL SITUATIONS

**Galaev S.A.,**

*Candidate of Technical Sciences,*

*Associate Professor at the Department of Mathematics and Informatics,*

*e-mail: galaev.sergey@mail.ru,*

*Moscow Witte University, Moscow,*

*Military Academy of Strategic Missile Forces named after Peter the Great, Balashikha*

*In article on the basis of the information approach the proposed method of synthesis of ultrapurity analysis of complex objects in terms of information redundancy with application of the provisions of mathematical Informatics, with the aim of solving the problem of processing large amounts of data in emergency situations.*

**Keywords:** ultramarathon, information about the object, information, joint processing, regularization, information redundancy, contingency