УДК 004.9

# ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КАТЕГОРИАЛЬНО-ОНТОЛОГИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ АЛГОРИТМИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

## Сагайда П.И., Гетьман И.А.

# APPLICATION OF CATEGORICAL-ONTOLOGICAL MODELING METHOD FOR DEVELOPMENT OF ALGORITHMIC SUPPORT FOR INFORMATION-MEASURING SYSTEM

## Sahaida P.I., Getman I.A.

Разработан метод категориально-онтологического моделирования, реализующий построение онтологических моделей, верифицируемых на основе теории категорий и скетчей и позволяющий внести в процесс инженерии знаний математические основы и обоснование результатов. Разработана методика верификации онтологической модели на основе теории категорий и выполнена ее реализация на примере проектирования алгоритмического обеспечения информационно-измерительной системы контроля внешнего вида изделий. По результатам категориально-онтологического моделирования разработана операторная модель преобразований сигнала в измерительном канале такой системы, смоделировано влияние различных возмущающих воздействий на измерительный сигнал и определены мероприятия, компенсирующие такие воздействия.

**Ключевые слова:** категориально-онтологическое моделирование, методика верификации онтологической модели, операторная модель, информационно-измерительная система

Введение. При разработке хранилищ данных и знаний (ХДиЗ) и алгоритмического обеспечения компьютерных систем (КС) для интеллектуальной обработки данных (ИОД) [1,2] с использованием онтологического моделирования [3,4] предметной области (ПрО) существует проблема субъективности онтологий, т.к. каждая из них разрабатывается с учетом ограниченного числа аспектов рассмотрения и частных экспертных знаний, без возможности математической проверки корректности и полноты результатов, и проблема выравнивания (alignment), т.е. слияния близких, но не идентичных онтологий, разработанных различными группами аналитиков.

По результатам анализа достоинств и недостатков онтологического моделирования [3] и путей для его совершенствования, разработан подход категориально-онтологического (КО) моделирования [5,6], реализующий построение онтологических моделей, верифицируемых на основе теории категорий и скетчей [7-9] и позволяющий внести в процесс инженерии знаний математические основы, проверку результатов и доказательную силу топологических шаблонов проектирования. КО моделирование, на основе коммутативных диаграмм для объектов и морфизмов теории категорий как мета-мета-модели, позволило органично объединить в один процесс проектирование ХДиЗ для КС на основе различных диаграммных методик и языков моделирования, без семантических и лингвистических барьеров, которые существуют в случае их несвязного применения

**Целью** данной работы является разработка методики проектирования алгоритмического обеспечения компьютерной системы для интеллектуальной обработки данных, на примере информационноизмерительной системы (ИИС) для обработки изображений, сегментации и распознавания образов, на основе метода КО моделирования.

Изложение основного материала. Современный уровень развития ИИС предполагает высокую интеграции в информационноуправляющие системы предприятий. Датчики, первичные преобразователи, устройства сопряжения, полевые шины, аналого-цифровые преобразователи, используемые в современных ИИС, должны быть описаны при помощи адекватных математических моделей. При этом необходим системный подход, требующий интегрировать разрозненные модели в единый комплекс, что позволяет оценить общие характеристики измерительного канала, определить возмущающие воздействия и помехи и оценить их вклад в погрешности измерения и контроля параметров изделий и процессов. Первым этапом проектирования КС, согласно [6], является накопление знаний о предметной области (ПрО) и построение общей онтологии для ПрО проектируемой ИИС. После привлечения к проекту специалистов в информационно-измерительной технике и технологиях, а также инженеров по знаниям, была получена онтологическая модель ПрО функционирования ИИС (в обобщенном виде, без уточнения типа объектов измерения и подробностей процесса получения и обработки данных), представленную в виде диаграммы классов ПрО нотации UML [10], например, такую, которая представлена на рис. 1. Представленная на данном рисунке онтология отображает известные представления о процессе измерения свойств (параметров) объектов в ходе взаимодействия с объектом измерительного контроля соответствующих устройств (таковыми могут быть и эксперты с соответствующей целевой функцией для оценки параметров, и первичные (и другие) преобразователи сигналов, и устройства-адаптеры для обеспечения интерфейса обмена данными, и пр.). При этом реализуется протокол измерения, определяющий перечень и порядок измерительных процедур и преобразований сигналов и данных. Свойство ПрО может быть само по себе объектом измерения, а также оно может быть комплексом различных характеристик (атрибутов), которые непосредственно могут наблюдаться в ходе измерений. Центральным отношением (ассоциацией в терминах UML) является процесс формирования измерительного сигнала в измерительном канале ИИС в результате измерения требуемой характеристики свойства ПрО. В результате реализации данной ассоциации полученный результат измерения, включающий также погрешность измерения, сгенерированную в результате выполнения протокола и влияния возмущающих воздействий, записывается в хранилище данных ИИС.

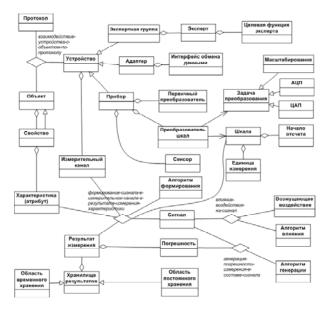


Рис. 1. Онтологическая модель ПрО функционирования ИИС, представленная в виде диаграммы классов ПрО в нотации UML

Как результат произвольной формализации субъективного знания специалиста в ПрО, разработанная модель является, на первый взгляд, корректным отражением изложенных выше соображений. Выполним верификацию данной онтологии на основе теории категорий, как предложено в разработанной в [5,6] методологии проектирования КС для ИОЛ.

Вначале уточним семантику использованных в дальнейшем в ходе КО моделирования объектов теории категорий (ТК) pushout («PO») и coproduct («+») [7] в рамках предложенного подхода, на примере КО модели получения измерительного сигнала и классификации составляющих его погрешности. Разработанная для данного аспекта ПрО работы ИИС КО модель приведена на рис. 2. Представление классификации видов составляющих погрешность измерения в ходе измерительного контроля выполнено с применением объекта «+», при этом отличие данного объекта ТК от суммы или объединения множеств состоит в том, что копроизведение, получаемое в результате выполнения мономорфизмов над составляющими погрешности не эквивалентно их сумме или объединению. Информационная компонента, описывающая знание об особенностях отображения протокола измерения на измерительный сигнал через его методическую и инструментальную составляющую, представлена первым объектом «РО». Компонента, описывающая знание об особенностях отображения динамического режима работы устройства (первичного преобразователя) на измерительный сигнал через его статическую и динамическую составляющую, представлена вторым объектом «РО». Кроме того, универсальное свойство копроизведения обеспечивает существование и уникальность морфизма [7,8], представляющего погрешность как составную часть измерительного сигнала. Таким образом, данная модель не является частной онтологией, представляющей фрагментарные знания аналитика о ПрО, а является строгой математической теорией, все составные части которой необходимо взаимосвязаны и взаимообусловлены.

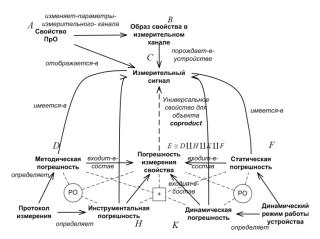


Рис. 2. Фрагмент категориально-онтологической модели процесса получения измерительного сигнала и классификации составляющих его погрешности

На рис. З приведена КО модель, представляющая процесс генерации измерительного сигнала в виде копроизведения образа измеряемого свойства (характеристики) в измерительном канале ИИС, систематической погрешности и результатов возмущающих воздействий. Последние являются результатом работы топологических шаблонов pushouts, отображающих в систематическую погрешность состояние устройства измерения и особенности протокола измерения, с учетом измеряемого свойства, и в случайную погрешность — особенности протокола измерения и состояние измерительного канала, на которые воздействуют состояние внешней среды (световые и электромагнитные помехи, вибрации и др.) и поведение оператора ИИС, соответственно.

С использованием результатов КО моделирования, приведенных на рис. 3, а также результатов обобщенного событийного анализа для ПрО в ходе интеллектуальной обработки и анализа данных [6], была разработана верифицированная онтологическая модель, в виде диаграммы классов UML, приведенная на рис. 4. Были модифицированы и дополнены, в соответствии с разработанными КО моделями, следующие компоненты онтологии: компонента,

описывающая получение результатов измерений, составляющие протокола измерения, классификация и особенности формирования погрешностей, классы состояний устройства и измерительного канала, и др.

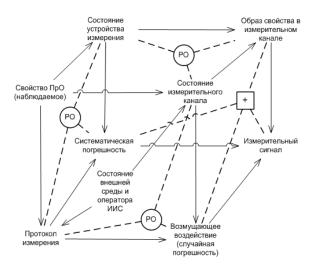


Рис. 3. КО модель, представляющая процесс генерации измерительного сигнала в ИИС

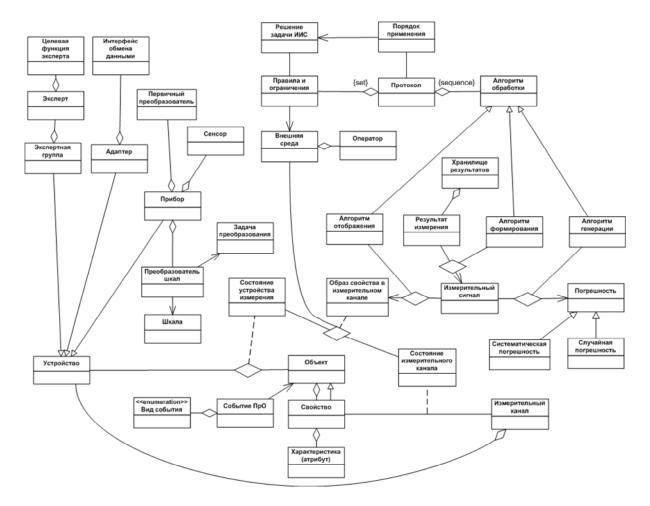


Рис. 4. Онтологическая модель ПрО функционирования ИИС, верифицированная на основе теории категории

Наиболее существенной компонентой модифицированной диаграммы является трехсторонняя ассоциация классов «Состояние устройства измерения», «Состояние измерительного канала» и «Внешняя среда», классом-ассоциацией которой (т.е. результатом взаимодействия объектов данных трех классов) является класс «Образ свойства в измерительном канале». Данная ассоциация корректно отображает процессы, смоделированные в КО модели на рис. 3, т.е. получение измерительного сигнала как результата отображения состояний устройства и измерительного канала, возникших в ходе восприятия сенсором значения свойства ПрО, и испытавшим влияние протокола измерения и внешней среды (в том числе, оператора ИИС). Также UML-модель на рис. 4 содержит уточнение процесса получения результата измерения, а также составных частей протокола измерения и их связей. Зависимость свойств погрешности результата измерения от протокола измерения и внешней среды обеспечена за счет ввода соответствующих классов, а также связей наследования и агрегации.

Обобщенный алгоритм построения диаграммы классов UML на основе КО модели, позволяющий верифицировать частную онтологическую модель на основе теории категорий, приведен на рис. 5.

Выполним на основе результатов КО моделирования, для определения состава и особенностей применения алгоритмического обеспечения ИИС, разработку операторной модели преобразований сигнала в измерительного канале, на примере ИИС контроля внешнего вида изделий.

Основными потребительскими свойствами различных изделий является их внешний вид. Для автоматизации наиболее трудоемкого и существенно влияющего на экономические показатели производственного предприятия (машиностроительного, керамического, полиграфического) этапа контроля качества - оценку геометрических параметров и внешнего вида изделия, - применяется фотоэлектрический метод контроля с использованием видеокамер на основе приборов с зарядовой связью и микропроцессорных средств обработки измерительного сигнала и распознавания изображений [11,12]. Для обеспечения эффективного функционирования ИИС необходимо разработать соответствующее алгоритмическое обеспечение обработки сигналов на основе математической модели преобразований сигнала в измерительном канале. Однако вследствие сложности многоэтапных процессов преобразования сигнала, испытывающего на различных этапах влияние возмущающих воздействий различной природы [11,13], для оперативности и корректности разработки также применим КО моделирование. Результаты разработки КО модели этапов преобразования сигнала в измерительном канале ИИС контроля внешнего вида изделий приведены на рис. 6. В данной КО модели для описания отношений между концептами ПрО применены, кроме уже описанных выше объектов ТК, следующие: pullback, или кодекартов квадрат (на рис. 6 обозначен как «PB»); соеqualizer, или коуравнитель (на рис. 6 обозначен как «<u>EQ</u>») [7-9].

Вход: //Частная онтологическая модель; Категориальноонтологическая модель

```
PrivateOntology = \langle Concepts, Relations \rangle;
```

```
COModel = \langle Obj_{\Gamma}, Hom_{\Gamma} \rangle;
```

**Выход:** //Верифицированная онтологическая модель в виде диаграммы классов UML

**VerifiedOntology** =  $\langle Classes, Links \rangle$ ;

### begin

```
Classes = \{\}; Links = \{\};
```

//Проверка и добавление в результирующую модель всех концептов на основе объектов из КО модели и генерация связей на основе морфизмов

```
for all O \in Obj_{\Gamma} in COModel do

for all C \in Concepts in PrivateOntology do

if not O \cong C then C = create(O) as Concept;

Classes = Classes \cup C;

for all \mu \in Hom_{\Gamma} in COModel do

if not \exists C \cong Dom(\mu) then createDomain(\mu);

if not \exists C \cong Cod(\mu) then createCodomain(\mu);

Classes = Classes \cup Dom(\mu) \cup Cod(\mu);

Links = Links \cup (\mu \text{ as Link});

end for;

end for;
```

## end for;

//Определение классов-ассоциаций на основе объектов pullback, pushout, product и соргоduct в КО модели. //Поиск и исключение связей из результирующей модели, которые:

- не соответствуют морфизмам в КО модели;
- не удовлетворяют закону коммутативности согласно КО модели;
- не удовлетворяют закону композиции согласно КО модели;
- являются агрегатами введенных ранее связей. //Поиск и исключение классов из результирующей модели, которые являются обобщением введенных ранее классов и для которых не установлены связи.

# return (VerifiedOntology);

Рис. 5. Обобщенный алгоритм построения диаграммы классов UML на основе КО модели, позволяющий верифицировать частную онтологическую модель на основе теории категорий

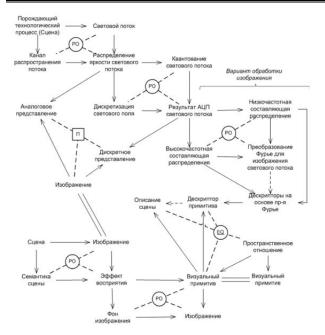


Рис. 6. КО модель этапов преобразования сигнала в измерительном канале ИИС контроля внешнего вида изделий

На основании разработанной КО модели, являющейся составной частью верифицированной с помощью ТК онтологической моделью данной ПрО, математическая модель преобразований, которым подвергается измерительный сигнал в канале распространения фотоэлектрической ИИС, может быть представлена с помощью ряда операторов, выполняющих последовательные преобразования над исходным сигналом — параметрами изделия, которое

получено на j-м шаге циклического технологического процесса.

При разработке математической модели преобразований сигнала в измерительном канале ИИС контроля внешнего вида изделий, для учета возмущающих воздействий и возможностей по их компенсации, была разработана КО модель, приведенная на рис. 7.

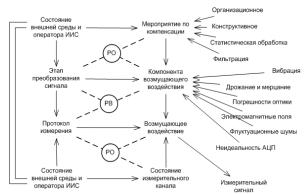


Рис. 7. КО модель формирования возмущающих воздействий и возможностей по их компенсации на различных этапах преобразования сигнала в измерительном канале ИИС контроля внешнего вида изделий

В соответствии с разработанными КО моделями для рассматриваемой ПрО, приведенными выше, была разработана операторная модель преобразований измерительного сигнала, общая схема которой приведена на рис. 8.

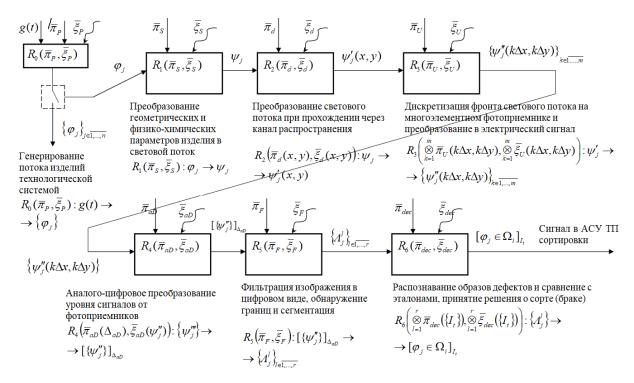


Рис. 8. Математическая модель преобразований в измерительном канале ИИС контроля внешнего вида изделий

Генерирование потока изделий технологической системой представим следующим образом:

$$R_0(\overline{\pi}_P, \overline{\xi}_P) : g(t) \to \{\varphi_j\},$$
 (1)

где g(t) - задание на производство потока изделий,  $\overline{\pi}_P$  - вектор технологических параметров оборудования,  $\xi_P$  - вектор влияющих факторов и возмущающих воздействий (флуктуации физико-химических параметров исходных полуфабрикатов и заготовок, помехи со стороны параллельно функционирующего оборудования и ошибки обслуживающего персонала и т.д.);  $\left\{ \varphi_{j}\right\}$  - упорядоченное множество изделий, полученных в результате выполнения производственного задания. При этом поток изделий квантуется путем размещения их на сортировочном конвейере. Индекс у оператора  $R_0$  показывает условность включения данного преобразования в модель измерительного канала. Однако без априорных моделей объектов измерения в данном случае построить эффективную ИИС затруднительно.

Преобразование геометрических и физикохимических параметров изделия  $\varphi_j$  (в том числе набора присущих ему дефектов и их параметров, как распределенных, так и сосредоточенных) в световой поток  $\psi_j$  представим оператором:

$$R_1(\overline{\pi}_S, \overline{\xi}_S) : \varphi_j \to \psi_j$$
 (2)

Ход преобразования при этом зависит от условий  $\overline{\pi}_S$  размещения камеры и изделия в пространстве, освещения и отражения светового потока и т.д., а также от  $\overline{\xi}_S$  (вектора амплитудно-частотных и статистических параметров оптических помех).

Световое поле от объекта контроля формируется за счет отражения излучения источника освещения. Явления ослабления и рассеяния света в цеховой атмосфере, дрожания и мерцания изображения в турбулентных потоках нагретого воздуха, фоновых и импульсных оптических помех, а также оценка влияния этих явлений на погрешность контроля и мероприятия по снижению их влияния рассмотрены в [11-14].

Преобразование светового потока при прохождении через канал распространения светового сигнала, включающего цеховую атмосферу с аэрозольными включениями и турбулентными воздушными потоками, а также оптическую подсистему видеокамеры, представим в виде оператора:

$$R_2(\overline{\pi}_d(x,y),\overline{\xi}_d(x,y)):\psi_j \to \psi'_j(x,y),$$
 (3)

где  $\overline{\pi}_d(x,y)$  - вектор условий преобразования, включающий в себя характеристики структуры ка-

нала распространения с соответствующими коэффициентами поглощения, геометрическими искажениями фрагментов светового потока, искажениями цветовой температуры, аберрации светового потока в оптической подсистеме;  $\overline{\xi}_d(x,y)$  - помехи вследствие динамических изменений условий преобразования и флуктуаций параметров канала распространения;  $\psi'_j(x,y)$  - результирующее пространственное распределение светового потока, приходящего на светочувствительную поверхность приемной камеры.

Дискретизация фронта светового потока на многоэлементном фотоприемнике и преобразование его в набор m электрических сигналов от отдельных фотоэлементов представим в виде оператора:

$$R_{3}\left(\bigotimes_{k=1}^{m} \overline{\pi}_{U}(k\Delta x, k\Delta y), \bigotimes_{k=1}^{m} \overline{\xi}_{U}(k\Delta x, k\Delta y)\right) : \psi'_{j} \to (4)$$

$$\rightarrow \left\{\psi''_{j}(k\Delta x, k\Delta y)\right\}_{k \in \overline{1, \dots, m}}$$

где  $\otimes$  - обозначение операции композиции,  $\stackrel{m}{\otimes} \overline{\pi}_U(k\Delta x, k\Delta y)$  - композиция режимов фотоэлектрического преобразования в матрице фоточувствительных элементов (шаг решетки, разрешающая способность, размер пикселей и соотношение этого размера с размером кружка рассеяния), моделирующая влияние пространственной дискретизации путем отображения плоского изображения в решетчатую функцию двух переменных, погрешности дискретизации вследствие конечных размеров и интегрирующей способности поверхности отдельных фотоэлементов, а также неравномерности их разме-

щения;  $\underset{k=1}{\overset{m}{\otimes}} \overline{\xi}_U(k\Delta x,k\Delta y)$  - композиция погрешностей преобразования, связанных с неравномерностью градуировочной характеристики приборов с зарядовой связью (ПЗС) в целом, флуктуаций этой характеристики у отдельных элементов и взаимным влиянием процессов преобразования в отдельных элементах;  $\left\{\psi_j''(k\Delta x,k\Delta y)\right\}_{k\in\overline{1,\dots,m}}$  - массив аналоговых сигналов от матрицы ПЗС.

Аналого-цифровое преобразование (АЦП) уровня сигналов от набора фотоприемников представим в виде оператора:

$$R_4(\overline{\pi}_{aD}(\Delta_{aD}), \overline{\xi}_{aD}(\psi_j'')): \{\psi_j'''\} \rightarrow [\{\psi_j''\}]_{\Delta_{aD}}, \quad (5)$$

где  $\Delta_{aD}$  - число уровней квантования,  $\overline{\pi}_{aD}(\Delta_{aD})$  - режим проведения АЦП,  $\overline{\xi}_{aD}(\psi_j'')$  - погрешности, вносимые АЦП в частотно-контрастную характеристику аналоговой приемной камеры,  $[\{\psi_j''\}]_{\Delta_{aD}}$  - массив отсчетов уровней видеосигнала от фотоприемников, представляющий собой цифро-

вое растровое изображение предметной области контроля — светового потока от изделия на фоне технологического оборудования и с внесенными искажениями, погрешностями и помехами в ходе различных преобразований.

Процессы фильтрации изображения в цифровом виде, обнаружения границ и сегментации изображения, выполняемых в ИИСКК, представим в виде оператора:

$$R_5(\overline{\pi}_F, \overline{\xi}_F): [\{\psi_j''\}]_{\Delta_{aD}} \to \{A_j^l\}_{l=1, r},$$
 (6)

где  $\overline{\pi}_F$  - вектор режимов проведения цифровой обработки, учитывающий используемые алгоритмы,  $\overline{\xi}_F$  - вносимые соответствующими алгоритмами искажения обрабатываемых сигналов и методические погрешности в результат измерительного контроля,  $\left\{A_j^l\right\}_{l\in\overline{1,\dots,r}}^l$  - описание обработанного изображения, включающее в себя перечень характерных областей изображения, их геометрических, частотных и цветовых параметров, при этом l - номер элемента описания, а r - общее их количество.

Распознавание образов дефектов и сравнение с эталонами, принятие решения о сорте (браке) представим в виде оператора:

$$R_{6}\left(\bigotimes_{l=1}^{r} \overline{\pi}_{dec}(\{I_{t}\}),\bigotimes_{l=1}^{r} \overline{\xi}_{dec}(\{I_{t}\})\right) : \{A_{j}^{l}\} \rightarrow [\varphi_{j} \in \Omega_{i}]_{I_{t}}, (7)$$

где  $I_t$  - априорные данные о текущем производственном задании, допустимых сортах, возможных дефектах и их характеристиках, знания о режимах сортировки, в том числе нечеткие ограничения на параметры изделий, экспертные оценки о результапредыдущих сортировок  $\overset{'}{\underset{l=1}{\otimes}}\overline{\pi}_{dec}ig(\!\{\!I_t\!\}\!ig)$  - композиция режимов распознавания образов, учитывающая используемые алгоритмы и их методические погрешности, полноту априорных данных и знаний;  $\mathop{\stackrel{r}{\underset{b=1}{\smile}}} \overline{\xi}_{dec}(\{I_t\})$  - погрешности, вносимые на этапе формирования априорных данных и знаний;  $[\varphi_j \in \Omega_i]_{I_i}$  - решение о принадлежности контролируемого изделия соответствующему сорту, принятое на основе текущих априорных знаний. Данное решение используется системой автоматизации сортировки изделий для генерации управляющего воздействия исполнительным устройствам.

Для формализованного описания измерительно-контролирующей процедуры, выполняемой ИИС контроля внешнего вида, используем операторную форму следующего вида:

$$\lambda^* = P_2 K P_1 \varphi \,, \tag{8}$$

где  $P_1$  - преобразования, выполняемые в аналоговой форме, K - аналого-цифровое преобразование,  $P_2$  - преобразования, выполняемые в числовой форме,  $\varphi$  - входное воздействие. При этом оператор  $P_1$  в нашем случае представляет собой произведение ряда определенных выше операторов, описывающих подробности этапа преобразований измерительного сигнала в аналоговом виде:

$$P_1 \varphi_j = R_3 R_2 R_1 \varphi_j = \left\{ \psi_j''(k\Delta x, k\Delta y) \right\}_{k \in \overline{1 - m}}. \quad (9)$$

Оператор K с помощью определенных выше операторов представляется следующим образом:

$$K\{\psi_j''\} = R_4\{\psi_j''\} = [\{\psi_j''\}]_{\Delta_{aD}}.$$
 (10)

Преобразования измерительного сигнала в цифровой форме, производимые над видеосигналами от ПЗС, над массивами отсчетов в виде изображений объекта контроля, преобразования изображений в набор элементов морфологического описания представлены в формализованной измерительноконтролирующей процедуре в следующем виде:

$$\lambda^* = P_2[\{\psi_j^*\}]_{\Delta_{aD}} = R_6 R_5[\{\psi_j^*\}]_{\Delta_{aD}} = [\varphi_j \in \Omega_i]_{I_t}.$$
(11)

Таким образом, результатом  $\lambda^*$  формализованной процедуры является принятие решения о принадлежности объекта контроля с параметрами  $\varphi_j$  классу  $\Omega_i$  на основании априорных данных  $I_t$ .

Выводы. Онтологическая модель, конструируемая в общем виде на основе накопленных данных о работе предметной области, обладает рядом существенных недостатков. Она представляет частный фрагмент знаний аналитика по рассмотренному аспекту предметной области и один из вариантов возможной формализации, при этом результат математически не верифицируется. Для решения данной научно-практической проблемы разработан метод категориально-онтологического моделирования, реализующий построение онтологических моделей, верифицируемых на основе теории категорий и скетчей и позволяющий внести в процесс инженерии знаний математические основы и обоснование результатов. Разработана методика верификации онтологической модели на основе теории категорий и выполнена ее реализация на примере проектирования алгоритмического обеспечения информационно-измерительной системы контроля внешнего вида результатам изделий. По категориальноонтологического моделирования разработана операторная модель преобразований сигнала в измерительном канале такой системы, смоделировано влияние различных возмущающих воздействий на измерительный сигнал и определены мероприятия,

компенсирующие такие воздействия. Операторная модель позволила определить перечень и порядок применения алгоритмов обработки измерительного сигнала в информационно-измерительной системе для обеспечения достоверности результатов измерительного контроля внешнего вида изделий.

Подход в рамках теории категорий к моделированию информационно-измерительной системы и разработке ее алгоритмического обеспечения дал возможность определить перечень и последовательность морфизмов на основе универсальных свойств объектов теории категорий и разработать математически обоснованную модель измерительного канала и состав алгоритмического обеспечения для обработки сигналов.

### Литература

- Nettleton D. Commercial Data Mining: Processing, Analysis and Modeling for Predictive Analytics Projects / D. Nettleton. – Elsevier Waltham, USA, 2014. – 339 p. ISBN 978-0-12-416602-8
- Witten I. H. Data mining: practical machine learning tools and techniques. – 3rd ed. / Ian H. Witten, Frank Eibe, Mark A. Hall. – Burlington, USA, 2005. – 629 p. ISBN 978-0-12-374856-0
- Hepp M. Ontology Management: Semantic Web, Semantic Web Services, and Business Applications / M. Hepp, P. De Leenheer, A. de Moor, Y. Sure (Eds.). Springer, 2007. 293 p.
- Палагин А.В. Онтологические методы и средства обработки предметных знаний: монография / А.В. Палагин, С.Л. Крывый, Н.Г. Петренко. – Луганск: изд-во ВНУ им. В. Даля, 2012. – 324 с.
- Сагайда П.И. Моделирование проблемной области компьютеризированных информационных систем для интеллектуальной обработки данных с использованием инженерии знаний / П.И. Сагайда // Наукові праці ДонНТУ. Серія: «Обчислювальна техніка та автоматизація». – № 1(30). – 2017. – С. 78-87. ISSN 2075-4272
- Сагайда П.И. Категориально-онтологическое моделирование интеллектуальной обработки данных для математического обоснования результатов инженерии знаний / П.И. Сагайда // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2017. – №4. – С. 152-162. ISSN 2219-9365.
- Spivak D.I. Category theory for the sciences. MIT Press, 2014. – 435 p.
- Walter R.F.C. Categories and Computer Science / R.F.C. Walter. – Cambridge: Cambridge Univ. Press., 1991. – 166 p.
- Wells C. A generalization of the concept of sketch // Theoretical Computer Science. – 70. – 1990. – P. 159-178.
- Ларман К. Применение UML и шаблонов проектирования.
   2-е издание: Пер. с англ. М.: Издательский дом "Вильяме", 2004. 624 с.
- Сагайда П.И. Совершенствование информационноизмерительных систем ковочных комплексов // Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском у металургії і машинобудуванні: Зб. наук. пр. – Краматорськ, 2000. – С. 523-526.
- 12. Гетьман И.А. Автоматизированный контроль качества керамических изделий при помощи фотоэлектрической информационно-измерительной системы / И.А. Гетьман // Неруйнівний контроль та технична діагно-

- стика: Тези доповідей на міжнародній науковотехнічній конференції. Івано-Франківськ. 2002. С. 104-106.
- 13. Гетьман И.А. Вопросы комплексной автоматизации технологических процессов формования керамических изделий на основе информационно-измерительных систем / П.И. Сагайда, И.А. Гетьман // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем: 36. наук. пр. Краматорськ: ДДМА. 2002. С. 242-248.
- 14. Воробьев В.И. Оптическая локация для радиоинженеров. / В.И. Воробьев. М.: Радио и связь, 1983. 176 с.

#### References

- Nettleton D. Commercial Data Mining: Processing, Analysis and Modeling for Predictive Analytics Projects / D. Nettleton. – Elsevier Waltham, USA, 2014. – 339 p. ISBN 978-0-12-416602-8
- Witten I. H. Data mining: practical machine learning tools and techniques. – 3rd ed. / Ian H. Witten, Frank Eibe, Mark A. Hall. – Burlington, USA, 2005. – 629 p. ISBN 978-0-12-374856-0
- Hepp M. Ontology Management: Semantic Web, Semantic Web Services, and Business Applications / M. Hepp, P. De Leenheer, A. de Moor, Y. Sure (Eds.). Springer, 2007. 293 p.
- Palagin A.V. Ontologicheskiye metody i sredstva obrabotki predmetnykh znaniy: monografiya / A.V. Palagin, S.L. Kryvyy, N.G. Petrenko. – Lugansk: izd-vo VNU im. V. Dalya, 2012. – 324 p.
- Sagayda P.I. Modelirovaniye problemnoy oblasti komp'yuterizirovannykh informatsionnykh sistem dlya intellektual'noy obrabotki dannykh s ispol'zovaniyem inzhenerii znaniy / P.I. Sagayda // Naukoví pratsí DonNTU. Seríya: «Obchislyuval'na tekhníka ta avtomatizatsíya». – № 1(30). – 2017. – P. 78-87. ISSN 2075-4272
- Sagayda P.I. Kategorial'no-ontologicheskoye modelirovaniye intellektual'noy obrabotki dannykh dlya matematicheskogo obosnovaniya rezul'tatov inzhenerii znaniy / P.I. Sagayda // Vimíryuval'na ta obchislyuval'na tekhníka v tekhnologíchnikh protsesakh. – 2017. – №4. – P. 152-162. ISSN 2219-9365.
- Spivak D.I. Category theory for the sciences. MIT Press, 2014. – 435 p.
- Walter R.F.C. Categories and Computer Science / R.F.C. Walter. – Cambridge: Cambridge Univ. Press., 1991. – 166 p.
- Wells C. A generalization of the concept of sketch // Theoretical Computer Science. – 70. – 1990. – P. 159-178.
- Larman K. Primeneniye UML i shablonov proyektirovaniya.
   2-ye izdaniye: Per. s angl. M.: Izdatel'skiy dom "Vil'yame", 2004. 624 p.
- 11. Sahayda P.Y. Sovershenstvovanye ynformatsyonnoyzmerytel'nykh system kovochnykh kompleksov // Udoskonalennya protsesiv ta obladnannya obrobky tyskom u metalurhiyi i mashynobuduvanni: Zb. nauk. pr. – Kramators'k, 2000. – P. 523-526.
- 12. Get'man I.A. Avtomatizirovannyy kontrol' kachestva keramicheskikh izdeliy pri pomoshchi fotoelektricheskoy informatsionno-izmeritel'noy sistemy / I.A. Get'man // Neruynívniy kontrol' ta tekhnichna díagnostika: Tezi dopovídey na mízhnarodníy naukovo-tekhníchníy konferentsíí. Ívano-Frankívs'k. 2002. P. 104-106.
- Get'man I.A. Voprosy kompleksnoy avtomatizatsii tekhnologicheskikh protsessov formovaniya keramicheskikh izdeliy na osnove informatsionno-izmeritel'nykh sistem / P.I. Sagayda, I.A. Get'man // Nadíyníst' ínstru-

mentu ta optimízatsíya tekhnologíchnikh sistem: Zb. nauk. pr. – Kramators'k: DDMA. – 2002. – P. 242-248.

 Vorob'yev V.I. Opticheskaya lokatsiya dlya radioinzhenerov. / V.I. Vorob'yev. – M.: Radio i svyaz', 1983. – 176 p.

## Сагайда П.І., Гетьман І.А. Застосування методу категоріально-онтологічного моделювання для розробки алгоритмічного забезпечення інформаційновимірювальної системи.

Розроблено метод категоріально-онтологічного моделювання, який реалізує побудову онтологічних моделей що верифікуються на основі теорії категорій і скетчів, і дозволяє внести в процес інженерії знань математичні основи й обгрунтування результатів. Розроблено методику верифікації онтологічної моделі на основі теорії категорій і виконана її реалізація на прикладі проектування алгоритмічного забезпечення інформаційно-вимірювальної системи контролю зовнішнього вигляду виробів. За результатами категоріально-онтологічного моделювання розроблено операторну модель перетворень сигналу у вимірювальному каналі такої системи, змодельовано дію збурюючих впливів на вимірювальний сигнал і визначено заходи, що компенсують такі впливи.

**Ключові слова:** категоріально-онтологічне моделювання, методика верифікації онтологічної моделі, операторна модель, інформаційно-вимірювальна система

## Sahaida P.I., Getman I.A. Application of categoricalontological modeling method for development of algorithmic support for information-measuring system.

The methodology for verification of the ontological model based on the theory of categories is developed and its implementation is realized on the example of designing the algorithmic support of the information and measuring system for controlling the appearance of products. Based on the results of categorical-ontological modeling, operator model of signal transformations in the measuring channel of such a system has been developed, the influence of various perturbing influences on the measuring signal has been modeled and the measures compensating such influences have been determined. The approach within the framework of category theory to the modeling of the information measuring system and the development of its algorithmic support made it possible to determine the list and sequence of morphisms on the basis of the universal properties in category theory and to develop the mathematically grounded model of the measuring channel and the composition of algorithmic support for signal processing.

**Keywords:** categorical-ontological modeling, operator model, information-measuring system.

**Сагайда Павло Іванович**, к.т.н., доцент, докторант кафедри електронної техніки Донецького національного технічного університету, м. Покровськ, e-mail: paulsagayda@ukr.net

Гетьман Ірина Анатоліївна, к.т.н., доцент кафедри комп'ютерних інформаційних технологій Донбаської державної машинобудівної академії, м. Краматорськ, е-mail: getman\_irina@ukr.net

Рецензент: д.т.н., проф. Суворін О.В.,

Стаття подана 11.12.2017.