

## ФУНКЦИОНАЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОД В ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ

**Аннотация.** Рассмотрен функционально-ориентированный подход в исследовательском проектировании, базирующийся на технологии научно-технического творчества с его морфологическим и трансформационным методами. Дополнение технологии элементами маркетинговых исследований позволяет получить инновационный продукт с высокими техническими характеристиками. Данный подход обеспечивает сочетание указанных свойств. Сделан акцент на классе средств вычислительной техники (смарт-систем), интенсивно развивающихся в настоящее время.

**Ключевые слова:** исследовательское проектирование, технология научно-технического творчества, маркетинговые исследования, трансдисциплинарность, онтологические методы, искусственный интеллект, смарт-системы.

### ВВЕДЕНИЕ. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ТВОРЧЕСТВА В ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ

Разработка объектов новой техники относится к задачам исследовательского проектирования [1], где данный процесс строится как ряд интерактивных процедур формирования промежуточных гипотетических вариантов на основе всестороннего анализа информации об объекте проектирования, его применении и предметной области в целом. В этом процессе выделяется фаза концептуального и парадигматического проектирования, связанного с формированием первичного образа (облика) проектируемого объекта путем синтеза метафорических моделей и их естественно-языкового описания по результатам сравнения его с другими объектами на основании общих и отличительных признаков. На самом деле эта фаза является одновременно одним из основных этапов как маркетинговых исследований (МИ), так и научно-технического (изобретательского) творчества. Отличие состоит в том, что в первом случае целью является формирование эффективной совокупности функциональных (потребительских) признаков, а во втором — отличительных технических признаков по отношению к выбранному прототипу. Вместе с тем существенно то, что правильный выбор прототипа в случае маркетинговых исследований (в отличие от изобретательского подхода) гарантирует не только новизну синтезируемого объекта современной техники, но и его позиционирование и продвижение на рынке товаров.

Процесс исследовательского проектирования основан на технологии научно-технического творчества, представляющей совокупность формальных и эвристических приемов (методов) поиска эффективного технического решения в исследуемой предметной области [1, 2]. Он всегда состоит из этапов анализа и синтеза. Первый связан с поиском и анализом ближайших аналогов и прототипов, второй — с определением облика проектируемого изделия и соответствующего технического решения. В [2] изложены два альтернативных метода технологии научно-технического творчества: трансформационный и метод морфологической классификации. В [1] приведен комбинированный метод, названный комбинированием эффективной совокупности потребительских признаков (КЭСПП), что, по сути, приближает его к задачам маркетинговых исследований. Метод КЭСПП получил свое развитие с применением трансдисциплинарной парадигмы и онтологического подхода, хотя не исключены из общего инструментария творчества интуитивные приемы субъекта творчества и модели его семантического пространства с зонами эрудиции, мировоззрения, побуждения и др.

© А.В. Палагин, 2017

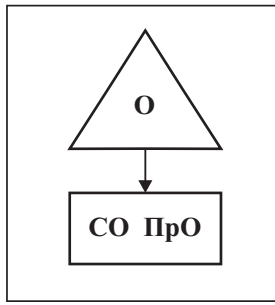


Рис. 1. Структурированное описание ПрО

В новой интерпретации жизненный цикл процесса исследовательского проектирования в общем случае можно представить состоящим из следующих этапов:

- сбор материала, представляющего предметную область (ПрО);
- формирование цели исследовательского проекта;
- анализ материала и онтологическое описание ПрО в виде структуры, показанной на рис. 1, где О — онтологический граф с функцией интерпретации концептов и отношений, СО ПрО — структурированное описание ПрО, размеченное онтологией;
- выявление противоречий и формулирование проблемной ситуации;
- постановка задачи исследовательского проекта;
- уточнение проблемной ситуации: выделение внешних (совокупности подзадач главной задачи) и внутренних (расширение функциональности проектируемого изделия (ПИ) как системы) противоречий;
- выявление аналогов-прототипов, формирование совокупности их потребительских признаков;
- формирование совокупности технических признаков и облика ПИ;
- выполнение эскизно-технического этапа проектирования и подготовка материалов к патентованию.

Большинство этапов (исключая интуитивные процессы субъекта творчества) можно поддержать информационными технологиями, основанными на онтологическом подходе и концепции семантического пространства, базирующейся на современных методах синтактико-семантического анализа естественно-языковых текстовых документов. Пример технологической системы синтактико-семантического анализа текстовых документов изложен в [3]. Система прошла апробацию в ряде предметных областей и ее можно рекомендовать для применения в задачах знание-ориентированного исследовательского проектирования.

#### ФОРМАЛИЗАЦИЯ ЗАДАЧ МАРКЕТИНГОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Маркетинговые исследования — это комплексная система изучения организации производства и сбыта товаров (услуг), а также разработки маркетинговой стратегии, обеспечивающей максимальный экономический эффект при разработке нового типа продукции.

Общие принципы проведения маркетинговых исследований: системность, комплексность, объективность, экономичность, регулярность, оперативность, точность, тщательность. Их соблюдение гарантирует получение обоснованных управленческих решений.

Все МИ подразделяются на фундаментальные и прикладные: первые ориентированы на исследование основных рыночных закономерностей и тенденций макроэкономических показателей, а вторые связаны с изучением потребностей конкретной организации и принятием конкретных управленческих решений (например, при разработке нового вида товаров).

Процесс МИ начинается с определения его проблем, целей и разработки плана, а заканчивается его реализацией, интерпретацией и систематизацией полученной информации, а также прогнозированием перспектив данного (нового) типа товара на базе SWOT-анализа — метода стратегического планирования на основе анализа факторов внутренней и внешней среды.

Основные объекты МИ [4]: рынок, товары и их свойства, потребители товаров, конкуренты, правовые аспекты.

В общей характеристике рынка основное внимание уделяется оценке состояния (потенциальных возможностей) и тенденций (конъюнктуры) развития рынка, деловой активности, ценовой политики. Исследование рынка ориентировано на

поиск «ниши», обеспечивающей реализацию сравнительных преимуществ производителя товаров и эффективных способов их реализации.

Характеристики потребителей товаров включают факторы, формирующие мотивацию и покупательские предпочтения, способы покупки, целевое сегментирование, тенденции поведения и др.

Для оценки товара исследуются их свойства, новизна и конкурентоспособность, жизненный цикл и потенциальный объем сбыта.

При исследовании потенциальных конкурентов анализируются их географическое и финансовое положения, основные характеристики товара, включая ценовые, направления совершенствования товаров-конкурентов и т.д. При создании нового (инновационного) продукта основное внимание при МИ уделяется анализу потребительских свойств — признаков продукции потенциальных конкурентов. Они являются исходной информацией для формирования идей и облика нового продукта. Важны результаты анализа соотношений «затраты/цена», «затраты/прибыль», которые затрагивают всю систему производства, продвижения товара и сбыта.

Различают два принципиально различных метода МИ, основанных на первичных и вторичных данных.

Первый метод ориентирует исследователя на конкретный проект, при этом используемые данные подразделяются на качественные, количественные и смешанные исследования. Качественные данные позволяют получить представления о пожеланиях, наклонностях и ожиданиях потребителей продукта, которые невозможно определить в количественных показателях.

Второй метод, использующий вторичные данные, — это обращение к информации, содержащейся в известных базах данных и других источниках. Его преимущество — простота и доступность данных, недостаток — неполнота и отсутствие целевой направленности. На практике специалисты МИ начинают с метода, основанного на вторичных данных.

На рис. 2 приведена блок-схема фрагмента МИ, представляющая этап формирования совокупности потребительских признаков (СПП) нового продукта и его преобразования в совокупность технических признаков (СТП), т.е. техническое решение, СТП\* — результирующая СТП. Разбивка на этапы дает возможность контролировать проект на протяжении всего жизненного цикла и принимать на каждом этапе решения о его продолжении, основанные на результатах исследования. Независимо от вида объекта характеризующая его СПП включает следующие две группы признаков [1]: функции, открытые для потребителя, и технико-эксплуатационные показатели (параметры), существенные для потребителя (эргономические характеристики, экономические показатели).

Признаки и параметры, принадлежащие к указанным группам, взаимозависимы. Характер этих зависимостей не всегда можно представить в аналитическом виде, тогда как качественные и количественные оценки таких зависимостей, как правило, вполне доступны. Например, очевиден рост стоимости проектируемого продукта с увеличением функциональных возможностей, совершенствованием конструктивных и эксплуатационных характеристик.

Различным классам объектов новой техники соответствуют различные СПП, поэтому их

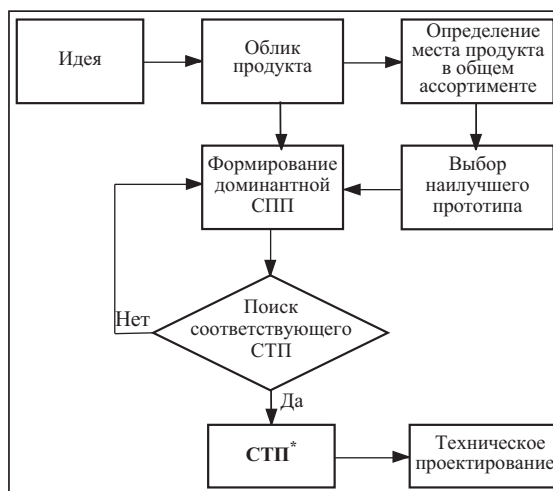


Рис. 2. Блок-схема фрагмента МИ

сравнение и МИ в целом целесообразно проводить внутри каждого класса. Для этого на начальном этапе этого процесса необходимо построить матрицу  $A$  параметров продуктов соответствующего класса, а также таблицу функций  $T$ , предлагаемых потребителю и реализуемых этими продуктами.

Матрица  $A$  и таблица  $T$  характеризуют рынок продуктов данного класса и могут являться исходным этапом при формировании аналогов и прототипов проектируемого изделия:

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{pmatrix} \text{ или } A = (a_{ij})_{i=1, j=1}^{m, n}, \quad A = (a_{ij}),$$

где  $A_i = (a_{i1} \ a_{i2} \ \dots \ a_{in})$  — вектор-строка матрицы  $(a_{ij})$ , характеризующая со-

вокупность потребительских признаков  $i$ -го продукта, а  $A^j = \begin{pmatrix} a_{1j} \\ a_{2j} \\ \dots \\ a_{mj} \end{pmatrix}$  —

вектор-столбец матрицы  $(a_{ij})$ , характеризующий  $j$ -й признак для всех продуктов исследуемого класса.

Вычислив среднее арифметическое для каждого  $j$ -го признака ( $j = \overline{1, n}$ ) по всем  $i$ -м продуктам ( $i = \overline{1, m}$ ) исследуемого класса

$$\bar{a}_j = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m a_{ij}, \quad i = \overline{1, n},$$

получим вектор-строку, характеризующую гипотетический продукт, имеющий средние показатели на множестве продуктов исследуемого класса  $\bar{A} = (\bar{a}_1, \bar{a}_2, \dots, \bar{a}_n)$ .

Аналогично можно определить минимальную  $A_{\min}$  и максимальную  $A_{\max}$  оценки.

Такие гипотетические продукты полезны для выбора прототипа и сравнительной оценки с вариантом СПП, полученным в результате проектных попыток разработчиком, а также могут являться ориентиром для поиска оптимального варианта решения.

Определенный интерес для рассмотрения представляет вариант, оптимальный по стоимости среди изделий заданного класса (например, с минимальной стоимостью). Для его отыскания выполним несколько процедур над матрицей  $A$  и таблицей  $T$ .

Для этого выделим в матрице  $A$  вектор-столбец  $A^n$ , определяющий цену изделий рассматриваемого класса. Тогда матрица параметров примет вид  $A^* = (a_{ij}^*)_{i=1, j=1}^{m, n-1}$ , где  $A^*$  является подматрицей матрицы  $A$  (без вектор-столбца  $A^n$ ).

По вектор-столбцу  $A^n$  легко определяется изделие с минимальной  $a_{\min}^i$  и максимальной  $a_{\max}^i$  ценой ( $i = \overline{1, m}$ ).

Оптимальный гипотетический вариант по критерию цены изделия ( $Q$ ) получается в результате решения оптимизационной задачи на основе матрицы  $A^*$ :

$$Q^a = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n-1} q_{ij} x_{ij} = \min;$$

$$\sum_{j=1}^{n-1} x_{ij} = 1; \quad i = \overline{1, m}; \quad j = \overline{1, n-1},$$

где  $q_{ij} = q(a_{ij})$  ( $i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n-1}$ ) — стоимость соответствующего параметра  $(a_{ij})$ .

Система ограничений формируется на основе системы критериев, ранжированных по приоритетному принципу (объем оборудования, производительность, энергопотребление и др.).

Аналогично учитывается стоимость  $q_{il}^f$  ( $i = \overline{1, m}; l = \overline{1, k}$ ) реализации соответствующей функции  $f_{il}$  представленной таблицей  $T$ :

$i \backslash f_l$	$f_1$	$f_2$	...	$f_k$
1	1	0	...	0
2	0	1	...	0
...	...	...	...	1
$m$	1	0	...	1

где «1» обозначает наличие функции  $f_{il}$  ( $il = \overline{1, k}$ ) в изделии  $i$  ( $i = \overline{1, m}$ ) рассматриваемого класса. Стоимость реализации  $i$ -го изделия определяется  $q_i = \sum_{l=1}^k X_{il} q_{il}^f$ ,

$x_{il} = \{0, 1\}$ , откуда легко находятся  $q_{i \min}^f$  и  $q_{i \max}^f$ , которые предназначены для ориентировочного выбора прототипа. Оптимален вариант, обеспечивающий максимальный объем продаж, а значит, оптимальную СПП, т.е. матрицы параметров  $A$  и таблицы функций  $T$ .

Отображение множества матриц параметров  $A$  и таблиц функций  $T$  на множество технических решений (и их стоимостных оценок) представляет не вполне формализованную процедуру инженерного анализа и МИ, относящуюся к общему инструментарию творчества, основанному на морфологической классификации.

Отметим, что для анализа рынка продуктов в настоящее время существуют и постоянно совершенствуются технологии семантического поиска и анализа текстовых документов. Они являются предметом отдельных исследований и относятся к области Semantic Web.

#### КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ СМАРТ-СИСТЕМ

Процесс интеллектуализации в отрасли средств информатики и вычислительной техники вышел на новый масштабный уровень, расширив сферу и функциональность их приложений в современном обществе.

Стратегическая рамочная программа «Горизонт-2020» открыла эру интенсивного развития смарт (разумных) систем различного уровня и назначения [5]. Это направление поддержано совместной технологической инициативой (JTI) «Электронные компоненты и системы для европейского лидерства» (ECSEL) на период до 2024 г. и одноименным совместным предприятием ECSEL JU. Многолетний стратегический план реализации программы исследований и инноваций в области электронных компонентов, систем и технологий (MASRIA) обеспечивает развитие следующих основных функциональных доменов: smart mobility, smart society, smart energy, smart health, smart production и в целом smart society. По сути, имеются в виду технологии, воздействующие на все аспекты функционирования современного общества. В настоящее время ни одна национальная экономика не может победить в глобальной конкуренции без развития этих технологий и связанных с ними инфраструктурных преобразований: взаимодействие в реальном времени машин, людей и объектов окружающего мира, обеспечение безопасности личности и общества, эффективное снабжение и распределение (вода, продукты питания и др.), логистика, смарт-администрирование и в целом поддержание устойчивого развития общества. Все множество перечисленных задач и областей деятельности является объектом исследования и разработок стратегического плана MASRIA.

Совместное предприятие ECSEL JU состоит из трех ассоциаций, объединяющих сотни европейских предприятий, специализирующихся по трем главным направлениям:

— Европейская ассоциация предприятий AENEAS, занимающихся исследованиями и инновациями в области микро- и нанoeлектроники;

— Европейская платформа EPoSS по интеграции смарт-систем и интегрированным микро- и наносистемам;

— Европейская промышленная организация ARTEMIS, ориентированная на создание широкого класса систем со встроенным интеллектом (СВИ).

Системы класса СВИ, в свою очередь, делятся на три подкласса:

— встроенные и киберфизические системы E & CPS (офисные, домашние, медицинские, мобильные, промышленные) с сенсорными, процессорными, сетевыми и управляющими функциями;

— подкласс CPS («Интернет-вещи» IoT), представляющий физические объекты (приборы, автомобильные средства, строительные конструкции, устройства со встроенной электроникой и дистанционным управлением) и поддерживающий функционирование современного общества;

— цифровые платформы DF, предназначенные для поддержки инфраструктуры цифровой экономики и включающие API-архитектуры, мобильные системы, облачные сервисы, взаимодействие с CPS и IoT.

Все приведенные программы и деятельность предприятий, занимающихся организацией исследований и инноваций, открыты и могут представлять практический интерес для специалистов-разработчиков в области информационных техники и технологий. Очевидно, что для решения всего множества проблем, сформулированных в документе MASRIA, необходимы методология и инструментарий системного анализа и синтеза, являющиеся, в свою очередь, объектом внимания MASRIA.

Исходя из изложенного, можно сформулировать основные принципы комплексного подхода к решению проблемы разработки смарт-систем для потребностей современного общества:

— трансдисциплинарность (обращение к целостной картине мира и создание фундамента нелинейного междисциплинарного взаимодействия и интеграции дисциплин, формирование на его основе устойчивых кластеров конвергенции технологий и дисциплин, обеспечивающих решение сложных проблем);

— знание-ориентированный подход к созданию объектов новой техники и технологий (формализация и конструктивизация знаний как инструмента проектирования, создание фабрик знаний в предметных областях и в перспективе первичной (сенсорной) информационной сети и Глобальной сети знаний как надстройки над Интернетом);

— использование онтологических методов и инструментов анализа предметных областей и сфер активности;

— ориентация на современные методы и средства традиционной школы искусственного интеллекта;

— систематизация и использование эффективных методов проблемной ориентации аппаратных средств и сервис-ориентированной концепции;

— реконфигурация, самоорганизация, виртуализация;

— системная интеграция, унификация и стандартизация технических решений.

Сформулированные принципы, по сути, являются основой ноосферной парадигмы научно-технического развития общества, апеллирующей к научным основам гармоничного взаимодействия человека с природой и устойчивого развития современной цивилизации [6]. Онтологическая концепция в этой парадигме наряду с трансдисциплинарным подходом к решению сложных проблем является доминирующей и предлагает простой, но единый и эффективный инструментарий для описания и интеграции предметных областей. В основе формальной компьютерной онтологии лежит четверка множеств:  $O = \langle X, R, F, A \rangle$ , где  $X$  — понятия,  $R$  — отношения,  $F$  — функции интерпретаций,  $A$  — базовые аксиомы предметной области.

Онтологическая концепция предоставляет пользователю целостное понимание предметной области либо сложный исследовательский проект. Онтологические модели позволяют строить классы, объекты и, наконец, формальные теории и онтолого-управляемые информационные системы различного назначения. Качество онтологического описания знаний предметной области и объекта проектирования зависит от корректности и полноты определения его базового компонента — понятия (отсюда апелляция к каноническим методам дефиниций и формирование категориального уровня онтологии). В основе ноосферной парадигмы лежит две онтологические системы, являющиеся источником требований к создаваемым объектам новой техники и технологии (технологической цивилизации в целом): онтологическая картина мира и онтолого-функциональное описание человека как субъекта природно-социальной структуры. Обе системы находятся на стадии становления, хотя онтологическое описание отдельных предметных областей в настоящее время интенсивно развивается [7].

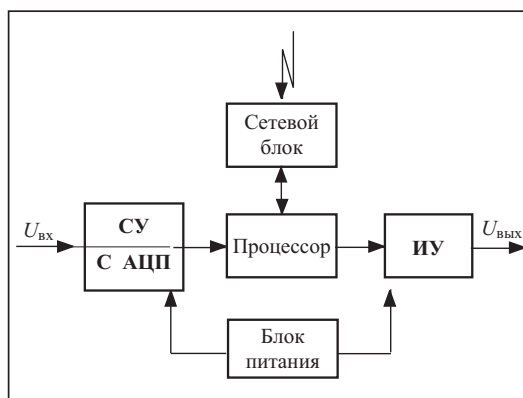


Рис. 3. Типовая функциональная структура элементарной смарт-системы

На рис. 3 приведена типовая функциональная структура элементарной смарт-системы (ЭСС), которая лежит в основе многих прикладных областей. Отличие состоит лишь в составе функций, технических и технологических особенностях. Проблемная и функциональная ориентации системы выполняются по правилам исследовательского проектирования с применением изложенных трансдисциплинарных концепций и онтологического анализа предметной области. Технологической основой ЭСС являются системы на кристалле (System-on-a-Chip (SoC)) либо системы в корпусе (System in a package).

Процессор системы (см. рис. 3) выполняет всю алгоритмическую функцию; сенсорное устройство (СУ) принимает входной сигнал (сигналы)  $U_{вх}$  из внешней среды и включает сенсорный элемент (С) и АЦП — преобразователь сигналов; исполнительное устройство (ИУ) вырабатывает выходной сигнал  $U_{вых}$  на исполнительный механизм; сетевой блок на основе радиоканала обеспечивает связь с первичной сетевой средой, включая Интернет.

Алгоритм работы ЭСС определяется ее функциональностью.

Один из вариантов реализации ЭСС — использование программируемых интегральных схем, а также различных библиотек функциональных блоков, которые представляются либо в виде топологических фрагментов, либо в виде моделей на языках (VHDL, Verilog).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрен функционально-ориентированный подход к задачам исследовательского проектирования, основанный на применении маркетинговых исследований и технологии (инструментария) научно-технического творчества, в частности, оригинальный метод поиска технических решений, сочетающий свойства трансформационного и морфологического методов. Использование трансдисциплинарного подхода, а также методов и средств онтологического анализа позволяет обеспечить существенную информационно-технологическую поддержку основных этапов исследовательского проектирования. Последняя в настоящей статье представлена поверхностно и является предметом отдельной публикации.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРЫ

1. Палагін А.В. Введение в класс трансдисциплинарных систем исследовательского проектирования. *Управляющие машины и системы*. 2016. № 6. С. 3–11.
2. Одрін В.М. Технологія наукової і технічної творчості: нова наука та високоінтелектуально інформаційна метатехнологія. *Вісн. НАН України*. 2005. № 6. С. 43–63.
3. Палагін О.В., Малахов К.С., Величко В.Ю., Щуров О.С. Проектування та програмна реалізація підсистем створення та використання онтологічної бази наукового дослідника. *Проблеми програмування*. 2017. № 2. С. 72–81.
4. Коротков А.В. Маркетинговые исследования. Москва: Юрайт, 2013. 608 с.
5. 2017 Multi Annual Strategic Research and Innovation Agenda for ECSEL Joint Undertaking <https://artemis-ia.eu/publication/download/masria> 2017.
6. Палагін О.В., Кургаєв О.П., Шевченко А.І. Ноосферна парадигма розвитку науки та штучний інтелект. *Кибернетика и системный анализ*. 2017. № 4. С. 12–21.
7. Боргест Н.М. Границы онтологии проектирования. *Онтология проектирования*. 2017. №1. С. 7–33.

Надійшла до редакції 20.07.2017

### О.В. Палагін

#### ФУНКЦИОНАЛЬНО-ОРИЕНТОВАНІЙ ПІДХІД У ДОСЛІДНИЦЬКОМУ ПРОЕКТУВАННІ

**Анотація.** Розглянуто функціонально-орієнтований підхід у дослідницькому проектуванні, що базується на технології науково-технічної творчості з її морфологічним і трансформаційним методами. Доповнення технології елементами маркетингових досліджень дозволяє отримати інноваційний продукт з високими технічними характеристиками. Даний підхід забезпечує поєднання зазначених властивостей. Особливу увагу приділено класу засобів обчислювальної техніки (смарт-системи), що нині інтенсивно розвивається.

**Ключові слова:** дослідницьке проектування, технологія науково-технічної творчості, маркетингове дослідження, трансдисциплінарність, онтологічні методи, штучний інтелект, смарт-системи.

### A.V. Palagin

#### THE FUNCTIONALLY ORIENTED APPROACH IN RESEARCH RELATED DESIGN

**Abstract.** Research related design relies on the technology of scientific and technological creation process with its morphological and transformative methods. Complete with marketing research elements it allows getting an innovative product with high technological characteristic as the end product. The paper gives an overview of the functionally oriented approach in research-related design, which combines the properties mentioned above with an emphasis on the category of computing equipment (called smart systems), which is being intensively developed.

**Keywords:** research related design, technology of scientific and technological creation process, marketing research, transdisciplinarity, ontological methods, artificial intelligence, smart systems.

#### Палагін Александр Васильевич,

академик НАН Украины, заместитель директора Института кибернетики им. В.М. Глушкова НАН Украины, Киев, e-mail: palagin\_a@ukr.net.