

# МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ СЛОЖНЫХ УПРАВЛЯЕМЫХ СИСТЕМ

---

УДК 004.8

*А.В. Палагин, Н.Г. Петренко*

## МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЗВИТИЯ, СТАНОВЛЕНИЯ И ИТ-ПОДДЕРЖКИ ТРАНСДИСЦИПЛИНАРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

### Введение

В современной научной картине мира (НКМ), основывающейся на идеях общей концепции эволюции, самоорганизации, коэволюции, нелинейности, предполагается, что субъект, понимаемый как общество, входит в познаваемую им систему как активная составляющая этой процесс-системы [1, 2].

Возникла даже философская концепция, названная трансгуманизмом, которая изучает возможности и последствия достижений науки и технологий, опасности и преимущества их использования. В противопоставление трансгуманизму представляются идеи постгуманизма, центральным тезисом которых является принятие Человека, Общества и Природы как трех совместно эволюционирующих систем [3].

Технонаука и особенно NBIC-технологии (N — нано, B — био, I — инфо, C — когно) становятся силой, способной коренным образом изменить природу человека и его жизнедеятельность. В настоящее время в связи с конвергентными технологиями возник вопрос, до какого предела человечество готово пойти в этих преобразованиях, когда они касаются самого человека? Этот вопрос затрагивает не только сферу самопознания и саморазвития, но и самосохранения. Ниже приведено онтологическое представление ноосферы, в которой, в том числе, затрагиваются вопросы развития человеческого общества.

Уже давно назрела необходимость расширения научного мировоззрения, что требует от науки более глубокого и интенсивного проникновения в суть законов природы и общества, чем это удавалось сделать с помощью дисциплинарного и междисциплинарного подходов. Ж. Пиаже считал, что «после этапа междисциплинарных исследований следует ожидать более высокого этапа — трансдисциплинарного, который не ограничится междисциплинарными отношениями, а разместит эти отношения внутри глобальной системы, без строгих границ между дисциплинами. Трансдисциплинарность следует рассматривать как новую область знаний, отличную от мультидисциплинарности и интердисциплинарности» [4]. Исторические аспекты формирования трансдисциплинарных исследований рассмотрены в [5].

Итак, цель данной публикации — разработка методологических основ трансдисциплинарных исследований с акцентом на их информационно-технологическую поддержку.

### Определения и сущность понятий, связанных с дисциплинарными исследованиями

С точки зрения классификации научных подходов полезно выбрать такой критерий как степень полноты познания окружающего мира. Тогда все подхо-

© А.В. ПАЛАГИН, Н.Г. ПЕТРЕНКО, 2018

ды можно свести к четырем основным видам: дисциплинарный, междисциплинарный (МД), мультидисциплинарный подход и трансдисциплинарный (ТД).

Под междисциплинарностью понимается интеграция научных областей через взаимное проникновение общих понятий. Термин «мультидисциплинарность» означает такое исследование, когда объект, процесс или явление изучается одновременно в разных аспектах сразу несколькими дисциплинами. «Трансдисциплинарные исследования характеризуются переносом когнитивных схем из одной дисциплинарной области в другую» [6–8].

В данной работе указанные термины понимаются в зависимости от «распределения» понятий и научных дисциплин по онтологическим уровням иерархии, что предполагает разные схемы их взаимодействия. Такое распределение существенно при рассмотрении системологии ТД-взаимодействия, системной интеграции предметных дисциплин и формировании «кластеров конвергенции» при выполнении трансдисциплинарных проектов и их информационно-технологической поддержке.

Такие понятия как Ноосфера, Объект, Процесс, Система, Информация, Природа, Общество, Человек, Предметная отрасль, Наука, Научная деятельность, Научная картина мира, Техника, Технология и т. п. относятся к уровню категорий. Такие понятия как Философия, Физика, Математика, Биология, Химия, Медицина, Гуманитарные и Социальные науки, Информатика, Нанотехнологии и др. относятся к уровню доменов научных дисциплин. Множество научных дисциплин, которые являются направлениями, разделами и подразделами доменов, относится к уровню научных дисциплин. К этому уровню также относятся и так называемые «двойные» дисциплины, например биоинформатика, физическая химия и более сложные их комбинации.

Сказанное поясняется схемой, представленной на рис. 1.

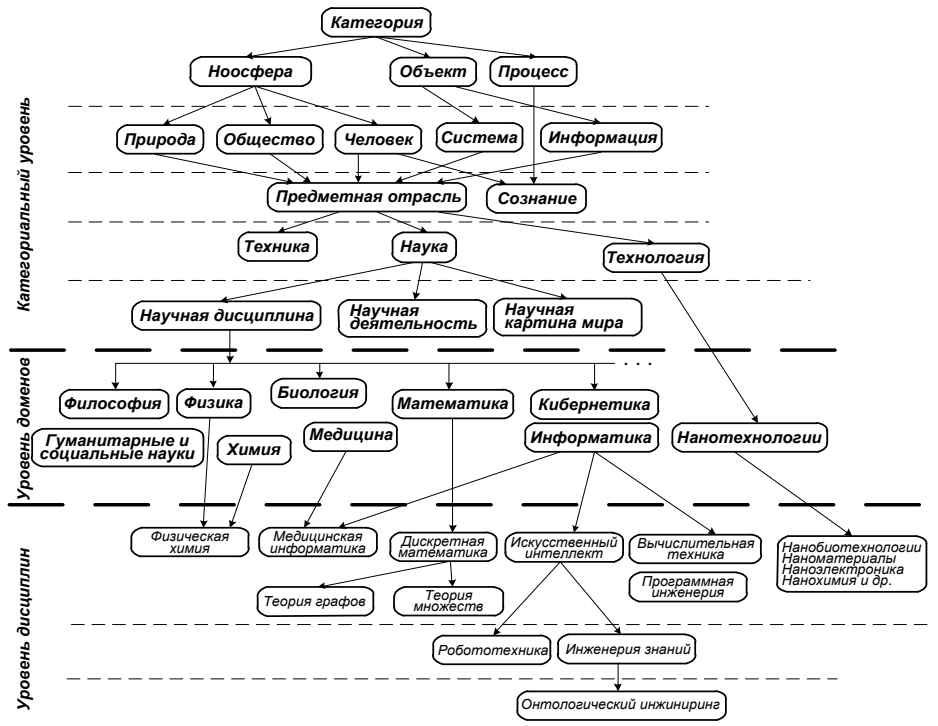


Рис. 1

Дисциплинарность позволяет науке поступательно развиваться в пределах предметных направлений, а дисциплинарный подход делит окружающий мир на отдельные предметные области. Если решение задачи или проблемы выходит за рамки возможностей дисциплинарных подходов, то принято считать, что оно находится «на стыке научных дисциплин». В процессе поступательного развития дисциплинарного подхода возникает противоположность, обуславливающая, с одной стороны, накопление дисциплинарных знаний, а с другой — установление естественного ограничения полноты познания окружающего мира. Выход из создавшегося положения обозначен следующим тезисом: «Если нельзя выйти за пределы дисциплинарного направления, то можно расширить область применения дисциплинарной методологии» [9]. В свою очередь расширение области применения дисциплинарной методологии привело к появлению междисциплинарных и мультидисциплинарных научных подходов, которые составили следующие уровни классификации научных подходов. Процесс их развития привел к тому, что метафора «стык дисциплин» постепенно приобрела вид междисциплинарных и мультидисциплинарных направлений, каждое из которых имеет свои особенности решения поставленных задач.

Междисциплинарность предполагает интеграцию нескольких научных дисциплин. Одна из них играет роль ведущей, и результаты МД-исследования всегда трактуются в терминах ведущей дисциплины. Особенность МД-подхода состоит в том, что он допускает прямой перенос методов исследования из одной научной дисциплины в другую. Перенос методов в этом случае обусловлен обнаружением сходств исследуемых предметных областей. МД-подход предназначен, прежде всего, для решения конкретных дисциплинарных проблем, в решении которых в какой-либо конкретной дисциплине возникают концептуальные и методологические трудности.

Синергетическая парадигма как раздел МД-подхода в иерархии знаний занимает особое место. С одной стороны, она апеллирует к целостности и интегральному представлению, системно определяя эффекты взаимодействия объектов, процессов и субъектов, а с другой, — акцентирует внимание на нелинейностях, неустойчивостях и появлении аттракторов, изменяющих в итоге многоуровневую организацию и поведение системы. В обоих случаях она выражается совокупностью формальных моделей самоорганизации и направлена на воспроизведение научной картины мира, что особенно важно при переходе к трансдисциплинарному подходу в научных исследованиях и воплощению парадигмы глобального эволюционизма. НКМ при этом может быть представлена как ТД-онтология, вобравшая в себя не только онтологии отдельных дисциплин, но и методы последних, включая варианты их перекрестного взаимодействия. ТД позволяет выстроить единую ТД-методологию анализа и синтеза, включив ее в общенаучную картину мира. Более подробно проблемы синергетики рассмотрены в [5].

Сказанное в соответствии со схемой, представленной на рис. 1, можно интерпретировать следующим образом. МД-подход затрагивает уровень научных дисциплин и связи уровня доменов научных дисциплин, например *Искусственный интеллект, Вычислительная техника, Программирование* → *Информатика* → *Медицина* → *Медицинская информатика* (на рис. 1 связи обозначены прерывистыми линиями со стрелками).

Мультидисциплинарность не предполагает переноса методов исследования из одной дисциплины в другую. Все дисциплины сохраняют свою предметную направленность.

При мультидисциплинарном подходе исследователи формируют обобщенную картину предмета исследования, по отношению к которой все ее дисциплинарные картины предстают в качестве ее равноправных частей. Накопление результатов мультидисциплинарных исследований в сходных областях дисциплинарных знаний приводит к появлению новых мультидисциплинарных дисциплин, например физико-химическая биология, экология и др. Свое практическое применение мультидисциплинарный подход нашел, в частности, в работе экспертных групп.

ТД системный подход использует знания, сформированные и накопленные дисциплинарными, междисциплинарными и МД-подходами [9]. ТД должна обеспечивать координацию и интеграцию дисциплинарных знаний на основе единого аксиоматического подхода (генеральных систем ТД). Так изначально представляли себе ТД Ж. Пиаже и Э. Янч [4, 10–12].

Трансдисциплинарность — это исследовательская стратегия, которая пересекает дисциплинарные границы и развивает холистическое (приоритетное рассмотрение целого по отношению к его частям) видение. ТД в узком смысле означает интеграцию различных форм и методов исследования, включая специальные приемы научного познания, для решения научных проблем. ТД в широком смысле означает единство знания за пределами конкретных дисциплин.

Каждая научная дисциплина имеет в своем основании блок базовых понятий, отвечающий принципу их необходимости и достаточности. В [10] для ТД предлагаются следующие базовые понятия: пространство, информация, время, система, функция, энергия, развитие и цель. Предложенные ТД базовые понятия являются ядром категориального уровня понятий — основы онтологий верхнего уровня, используемых при постановке проблем и формировании сложных ТД-проектов.

Качественные характеристики рассмотренных выше научных подходов представлены в таблице, где ПдО — предметная область.

Таблица

Наименование подхода	Проблема	Качественные показатели				
		Использование методик и методов	Интеграция методик и методов	Феномен	Собств. язык	Области исследования
Дисциплинарный	Внутридисциплинарная	Свои	–	Внутри конкретной ПдО	+	Конкретная ПдО
Междисциплинарный	Несколько ПдО	Заимствованные из других ПдО	+	Внутри научный	–	Две и более ПдО
Мультидисциплинарный	Несколько ПдО	Объединение междисциплинарных	+	Вне конкретных ПдО	–	Объединение междисциплинарных ПдО
Трансдисциплинарный	Многофакторная Природы и Общества	Функциональный синтез методологий разных ПдО	+(наиболее сильная)	Пограничная сфера науки и бытия	–	Дисциплины природной и социальной сфер, Человек. Кооперация познавательной и инновационной деятельности

Отметим изменения в структуре науки, обусловленные трансформацией дисциплинарной организованной науки в ТД-исследования:

— выделение следующих признаков постнеклассического этапа: изменение характера научной деятельности, обусловленное революцией в средствах получения и хранения знаний (компьютеризация науки, сращивание науки с промышленным производством и т.п.); повышение значения экономических и социально-политических факторов и целей; изменение самого объекта исследования — открытые саморазвивающиеся системы («человекообразные» объекты, примером которых являются объекты биотехнологий, экологические системы, биосфера и т. п.) [13–15];

— ТД-исследования, захватывая зоны пограничных (демаркационных) ареалов научных дисциплин, интегрируют сущностные основы последних, образуя так называемые кластеры конвергенции, в которых происходит мощное синергетическое взаимодействие за счет взаимопроникновения парадигм и конкретных текущих результатов каждой из дисциплин, входящих в тот или иной кластер. Указанное взаимодействие отражает целостность реального мира, являясь стимулом и одновременно гарантией успешности ТД-исследований и связанных с ними практических проектов, нетривиальности и значимости их результатов [16].

Ярким примером технауки может служить упомянутый ранее кластер NBIC-конвергенции и пересекающийся с ним ЯИИЗ-кластер (Я — язык, И — информация, И — интеллект, З — знания). Информатика привносит в эти кластеры как системообразующую, так и компьютерно-технологическую компоненты. Главные прорывные направления в указанных кластерах, это: стирание граней между живыми и неживыми системами, наноробототехника с ее многочисленными приложениями, глобальные суперкомпьютерные агломерации с высоким уровнем искусственного интеллекта. К ним следует добавить единую распределенную ТД-систему знаний как глобально-коммуникационный вариант общенаучной картины мира и следующий этап развития существующих Интернет и Semantic Web.

Предполагается, что ТД-исследования должны обеспечить: эффективное ТД-взаимодействие на всех этапах жизненного цикла решения фундаментальных и прикладных научных проблем; методологическое сопровождение и обеспечение процессов интеграции, конвергенции и унифицированного формализованного представления ТД-знаний и операций над ними; общую основу взаимопонимания представителей разных научных дисциплин; включение человека во внутринаучный контекст сначала через учет параметров наблюдения (физика микромира), затем через включение социальных и гуманитарных факторов, что приведет к сближению естественнонаучного и гуманитарного знания; прохождение технологическими проектами социальной экспертизы [1, 16–20].

Таким образом, ТД-исследования — это качественно новый этап интеграрованности науки и общества. Для его завершения научному сообществу предстоит еще многое разработать, в частности:

— общенаучную картину мира, включая предметные дисциплины, и соответствующую ей глобальную сеть ТД-знаний;

— метатеорию и метаязык ТД, одним из претендентов на такой язык является метаязык нормальных форм знаний, описанный в [21, 22];

— системологию ТД-взаимодействия, образно-понятийный аппарат и модели, возможности которых позволяли бы, с одной стороны, охватить все факторы, формирующие сложную проблему и воздействующие на нее, а с другой стороны, — выявить и учесть механизмы, посредством которых осуществляется это воздействие;

— метод (или совокупность методов) системного исследования, обеспечивающего доступ ко всей дисциплинарной информации и ее анализа, понятный и доступный специалистам любой научной дисциплины;

— перспективные и самодостаточные кластеры конвергенции, составляющие ядро шестого технологического уклада [20];

— методы проведения экспериментов, позволяющие изучать многофакторное воздействие объектов познания и оценки их результатов;

— способы постановки и решения сложных многофакторных проблем в науке, технике и технологии.

Перечисленные задачи являются обобщенными и, в свою очередь, включают ряд подзадач. Некоторые из них рассмотрены ниже.

### **Трансдисциплинарность–ноосферная концепция–картина мира**

Как многократно отмечалось выше, современный этап развития науки и ее приложений носит явно ТД-характер. «Этот факт обусловил необходимость разработки строгой методологии ТД научных исследований, расширения сети ТД международных центров и школ, наконец, определения места и роли информатики в системно-технологической поддержке ТД-исследований и использования их результатов при решении глобальных проблем развития современной цивилизации. Подчеркнем еще раз, что ТД-парадигма предполагает построение в обозримом будущем общенаучной картины мира или, что то же самое, — единой ТД-системы знаний, обеспечивающей формализованные постановку и решение конкретных задач при выполнении комплексных проектов высокой сложности, социальной значимости, конфликтности и конкурентности» [16]. Другими словами, речь идет о метанауке, способной объяснять процессы и явления постоянно эволюционирующего окружающего мира, а также решать все более сложные прикладные проблемы природы и общества.

Именно при переходе к обществу знаний и ТД-знание-ориентированным технологиям по-настоящему проявляется системообразующая роль информатики. Путь к ТД лежит через создание системологии МД взаимодействия (в свете эволюции научных теорий) как самостоятельной отрасли знаний. Тем более, что информатика, кроме четкого математического базиса, владеет и технологиями постановки и решения сложных научно-технических проблем.

Таким образом, сущность ТД-подхода к исследованию комплексных научно-технических проблем состоит в эффективном обеспечении двуединства концепций углубления конкретных знаний в предметной области, с одной стороны, и расширения охвата проблемы, исходя из реальности единства мира, и стремления воссоздать целостную НКМ, — с другой.

Термины: ноосферогенез, трансдисциплинарность, онтолого-управляемые системы, виртуальная парадигма, информационно-когнитивная поддержка научных исследований, персонифицированные базы знаний, смарт-проекты, Интернет-вещи четко очерчивают, прежде всего, предметную область информатики и информационных технологий XXI столетия, ориентированную непосредственно на этап развития человеческого общества, основанный на экономике знаний. На самом же деле процесс ноосферогенеза, по В.И. Вернадскому, затрагивает более глубокие аспекты взаимодействия в системе «Человек–Природа». Он апеллирует к научной мысли, а следовательно, к когнитивным ресурсам человеческого разума и НКМ, построение которой невозможно без ТД-подхода к науке и человеческой цивилизации в целом [16]. На рис. 2 приведен вариант категориального уровня ноосферы.

На рисунке представлены основные концепты ноосферной парадигмы, среди них главенствующими является триада «знание-ориентированная концепция → коллективный разум → устойчивое развитие общества».

ТД-исследования позволяют уяснить сложность решаемых проблем, принять во внимание разнообразие представлений о жизненном мире и поставленных проблемах, связать абстрактное и конкретное знание с использованием средств «онтологического инжиниринга» и глобальной сети ТД-знаний.

ТД-исследования часто носят выраженно проектный характер, когда для решения некоторой жизненно важной проблемы формируется временная рабочая группа, включающая в себя представителей самых разных областей — ученых, техников, политиков, представителей общественности и т. д. [18].

Методологически ТД-исследования включают в себя ряд основных стадий:

- 1) анализ проблемы, ее идентификация и структурирование;
- 2) разработка недостающего теоретического материала, необходимого для решения проблемы;
- 3) построение кластеров конвергенции предметных областей;
- 4) выбор (или разработка нового) языка для формализованного представления знаний предметных областей и соответствующих компьютерных онтологий;
- 5) практическая реализация проекта.

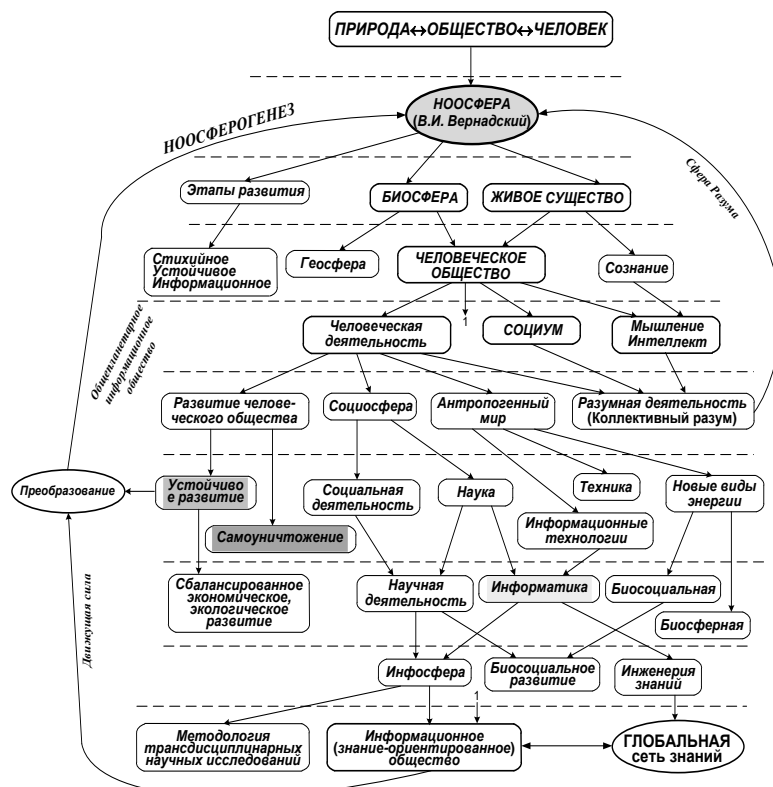


Рис. 2

Указанные стадии организованы в линейной последовательности, но имеют также обратные связи.

В [23] выделено четыре общих принципа и характеристики ТД-исследований.

— принцип разбиения сложной проблемы на более простые задачи с учетом вида знания и участников проекта;

— принцип развития исследования через рекурсивность: ТД-исследование организуется циклически, в форме многократных рекурсивных циклов, что позволяет корректировать промежуточные результаты исследования;

— достижение эффективности полученного результата посредством конкретизации и ориентации на применение к конкретным социальным практикам, целевым группам, соотнесение с подобными исследованиями в других проектах и т.д.;

— достижение результатов через открытую состязательность и плюрализм.

### **Основы онтолого-ориентированной поддержки ТД-исследований**

Методология научных исследований и конструирование механизма МД-взаимодействия при решении сложных научно-технических проблем связаны с созданием концептуально-понятийного каркаса научных теорий. Таким каркасом может служить совокупность формальных компьютерных онтологий конкретных предметных областей. Формально онтологию можно представить четверкой множеств:

$$O = \langle X, R, F, A \rangle,$$

где  $X, R, F, A$  — конечные множества соответственно:  $X$  — концептов (понятий) ПдО,  $R$  — отношений между ними,  $F$  — функций интерпретации (как  $X$ , так и  $R$ ),  $A$  — аксиом [24].

Онтологии — это суть понятийные системы, а понятийное мышление — самая совершенная форма функционирования сознания и интеллекта [25]. Прототипом такой системы могут служить активно развиваемые знание-ориентированные информационные системы с онтолого-управляемой архитектурой.

Общая задача онтологии — скомпенсировать отсутствие стандартов на представление знаний при взаимодействии пользователя с информационными системами и последних между собой, а также интеграция знаний предметных областей как главная задача ТД научных исследований.

Основные онтолого-управляемые функции реализуются в специальном классе знание-ориентированных компьютерных систем, а именно в классе онтолого-управляемых интеллектуальных компьютерных систем [16]. Последние имеют предварительно сформулированные цели (дальние и ближние) и установки (формируются на основе приоритетов и критериев, выработанных в режиме обратной связи в процессе взаимодействия с внешней информационной средой). Основой предметной деятельности таких систем является система знаний, которую можно представить в виде подсистемы общих знаний, взаимодействующей со множеством подсистем знаний в предметных областях.

Реализация онтологической концепции предполагает:

— полное описание предметных знаний, для этого необходимо: 1) сформировать и обработать (выполнить семантический анализ) интегрированный лингвистический корпус текстов (ЛКТ) по заданным предметным областям; 2) построить онтографы (множества  $X, R$ ) для каждой ПдО; 3) формализовать описание знаний в виде научной теории; 4) выполнить процедуры обработки и интеграции предметных знаний с применением систем семантического анализа исходных текстовых материалов и аналитической обработки и представления. Примером может служить инструментарий ТОДОС (трансдисциплинарные онтологические диалоги объектно-ориентированных систем), который представляется как комплекс программно-информационных и методических средств управления знаниями с использованием подходов онтологического



управления корпоративными информационными ресурсами [26]. Функциональность ТОДОС может расширяться, обеспечивая реализацию ряда важных и полезных функций, таких как:

- удобный интерфейс, обеспечивающий совместную работу группы экспертов из разных областей знаний;
- построение интегрированного ЛКТ, описывающего знания разных ПдО, включая: наполнение онтологической базы знаний публикаций научного исследователя; индексацию и разметку оригиналов публикаций для полнотекстового поиска и сохранения знаний и данных в системе управления базами данных (СУБД); лемматизацию словоформ; экстракцию текста из оригиналов публикаций, представленных в виде документов в форматах pdf, doc и docx; автоматическое формирование представительного корпуса исходных текстов для нейросетевого анализа с автоматическим определением названия, авторов и количества страниц публикаций; полнотекстового поиска по текстовым файлам;
- средства построения и формализации интегрированных онтологий ПдО, представления знаний в виде научной теории, проверка их корректности;
- построение категориального уровня понятий и обеспечение его взаимодействия с уровнем предметных знаний;
- поддержка процесса построения глобальной сети ТД-знаний и процедур ее освоения и использования;
- построение самодостаточных кластеров конвергенции, необходимых для выполнения ТД-проекта;
- поддержка процесса выполнения ТД-проекта на всех этапах жизненного цикла;
- оценка социальной значимости проекта.

После такой доработки комплекса ТОДОС представляется возможным решить задачу полного описания знаний ПдО, жизненный цикл которого можно представить цепочкой «Семантический анализ интегрированного ЛКТ → Построение онтографов для каждой ПдО → Выделение континуума элементарных смыслов → Онтологическое описание элементарных смыслов на некотором языке Semantic Web → Обобщение элементарных смыслов на основе научно-онтологической и языково-онтологической картин мира → Формализация предметных знаний → Формирование и решение прикладных задач с предоставлением пользователю совокупности соответствующих сервисов.

Онтология реальной онтолого-управляемой информационной системы содержит в общем случае три иерархически связанные компоненты: метаонтологию, оперирующую концептами общего характера (онтологию категориального уровня), предметную онтологию и онтологию приложений. Более содержательно онтология предметных дисциплин рассмотрена в [24, 27].

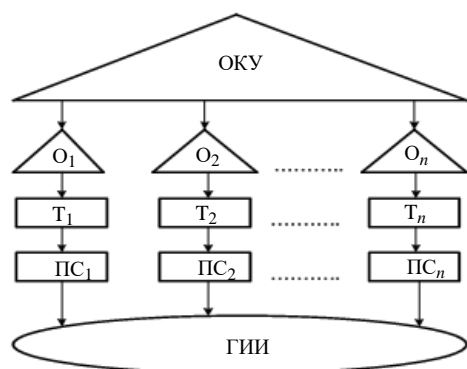


Рис. 3

Современные инструментальные информационные технологии с текст-процессингом, семантическим анализом и обобщением смыслового контента позволяют в значительной степени автоматизировать процесс описания знаний предметных областей. Каждое такое описание представляется цепочкой «онтология–формальное изложение научной теории–прикладная система». Тогда архитектуру единой трансдисциплинарной сети знаний можно представить в виде рис. 3 [16, 28].

Здесь:  $O_1-O_n$  — онтологии предметных областей,  $T_1-T_n$  — формальное представление научных теорий,  $ПС_1-ПС_n$  — соответствующие прикладные системы, ОКУ — онтология категориального уровня, ГИИ — глобальная информационная инфраструктура (next generation network).

Роль ОКУ чрезвычайно высока в связи с «воссозданием целостной научной картины мира» и обеспечением МД и ТД взаимодействия на уровне общего языка категорий. Несмотря на огромный интерес и усилия ведущих ученых и групп исследователей вопрос ее (ОКУ) построения остается пока открытым. Однако известен целый ряд частичных онтологий верхнего уровня, ориентированных на какой-то конкретный аспект отражения действительности (см. рис. 2).

Следует отметить, что для освоения и использования глобальной сети ТД-знаний требуется соответствующая методология.

Роль онтологий предметных знаний, кроме традиционных функций концептуализации и спецификации научных теорий, заключается в реализации онтологического управления на уровне архитектуры компьютерной системы.

Более детально категориальный и доменный уровни знаний в научно-онтологической картине мира представлены на рис. 4. Понятно, что все аспекты (даже основные) указанных уровней знаний на одной схеме отразить невозможно. Поэтому здесь упор сделан на категории «Природа → Общество → Человек → Знания о мире → ТД научные исследования».

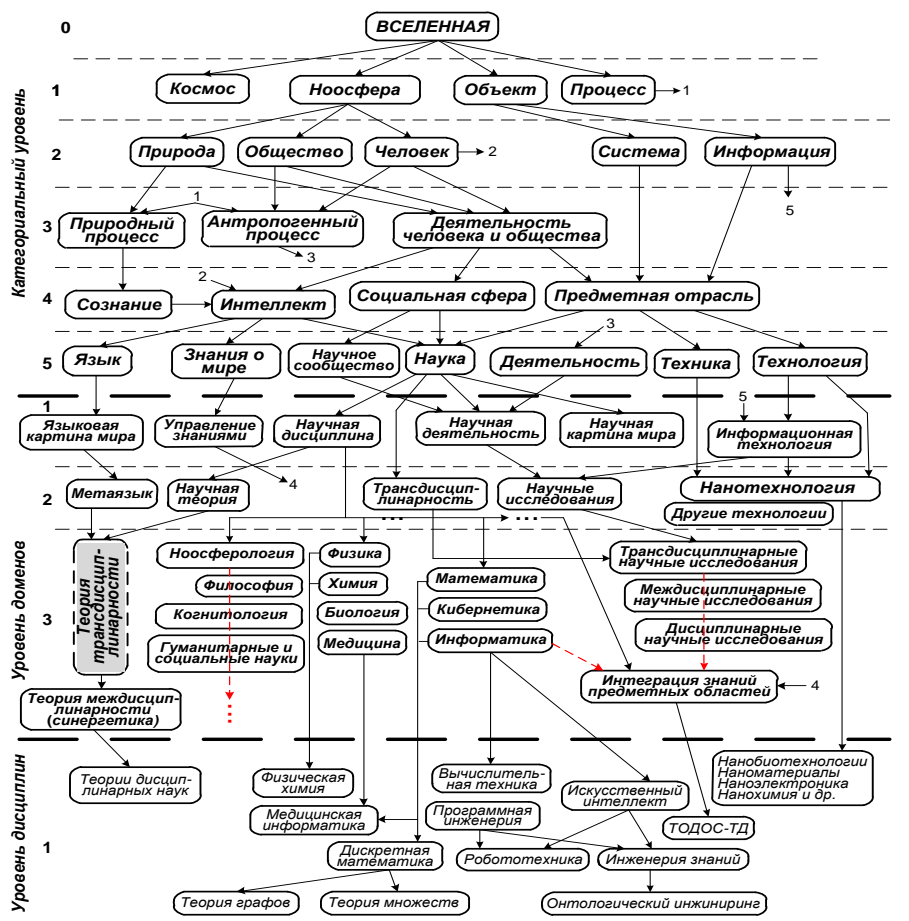


Рис. 4

На рисунке представлено три обобщенных уровня.

1. Собственно уровень категорий, структурированный на шесть подуровней ( $0 \div 5$ ) в соответствии с категориальными отношениями.

2. Уровень доменов предметных и научных дисциплин. Он разделен на три подуровня ( $1 \div 3$ ), в котором отражены, в основном, домены отрасли науки. Начиная с этого уровня, семантические отношения между понятиями уже поддаются некоторому научному осмыслению. В большинстве они представлены отношениями типа «быть целым», «быть частью», «быть родом» и «быть видом».

3. Уровень дисциплин представлен только корневыми вершинами предметных дисциплин и технологий шестого технологического уклада. На этом уровне преобладают отношения типа «целое–часть». Более подробно онтологии некоторых предметных дисциплин и категориальный уровень семантических отношений между понятиями рассмотрены в [27].

Достаточно полный анализ онтологий верхнего уровня приведен, например, в [24].

Кратко опишем перечисленные выше уровни.

**Категориальный уровень.** Незыблемое правило построения любого онтографа — указать корневую вершину-понятие, которое включает в свой объем все нижележащие вершины-понятия. В данном случае такой вершиной является категория «Вселенная» (В) (уровень 0). Формально В — тип наивысшего (нулевого) уровня категоризации, не имеет никакой дифференциации [24].

На уровне 1 расположены категории «Космос», «Ноосфера», «Объект» и «Процесс». Категория «Космос» на представленном онтографе (см. рис. 4) подробно не рассматривается (на данном этапе). Категория «Ноосфера» представлена онтографом (см. рис. 2). Категории «Объект» и «Процесс» включены для разделения понятий на статические и динамические типы. На онтографе отсутствуют категории «Материальное» и «Абстрактное», потому что тематическая направленность онтографа предполагает включение в него, в основном, абстрактных понятий.

Категории подуровней  $2 \div 4$  отражают сущностную основу ТД научных исследований, а категории подуровня 5 их детализируют.

**Уровень доменов** играет важную роль при формировании «кластеров конвергенции» — органически связанной совокупности научных теорий, современных технологий и достижений технической отрасли. Указанная связанность ярко проявляется в упомянутом выше NBIC-кластере технологий.

**Уровень дисциплин** конкретизирует предметные дисциплины, научные теории и технологии.

Далее попытаемся описать (хотя бы в общем виде) принципы взаимодействия понятий, расположенных на всех уровнях.

Схема категориального уровня понятий (см. рис. 4) структурирована в соответствии с онтологическими принципами, логическим законом обратного отношения между объемом и содержанием понятий и требованиями-утверждениями, носящими рекомендательный характер [24].

Определение категорий в ОКУ выполнено по функциональному принципу, т.е. они отличаются специфической функцией в теории познания. Как следует из вышесказанного, любое понятие в онтологии связано с другим любым понятием в той же онтологии:

— по объему — посредством семантических отношений  $R$  (связей) к ближайшему общему понятию (или категории);

— по содержанию (для существенных признаков) — посредством функций интерпретации  $F$  и аксиом  $A$ , присущих тому же ближайшему общему понятию.

Обобщение в понятии (в форме понятия) есть операция создания понятия, обобщенно представляющего наблюдаемые или возможные предметы того или иного класса. А операция обобщения понятия определяется как переход от одного понятия к другому, более широкому по объему за счет исключения из содержания исходного понятия какого-либо из признаков, составляющих видовое отличие обобщенных в этом понятии предметов [29].

Из сказанного выше следует, что переход в онтографе с уровня  $n$  на  $(n-1)$ -уровень в некотором виде является частным случаем обобщения понятия, а переход в онтографе с уровня  $(n-1)$  на  $n$  уровень — ограничением понятия.

### Информационные технологии поддержки ТД научных исследований

В настоящее время развитие науки характеризуется усилением тенденции интеграции в изучении объектов. Это происходит потому, что современная наука исследует сложноорганизованные и саморазвивающиеся системы, требующие кооперативного взаимодействия различных научных дисциплин. Так, экология, общая теория систем, кибернетика, информатика, социобиология являются примерами комплекса естественнонаучных, технических и гуманитарных исследований. В частности известен подход к описанию сложной реальности, который связан с идеями построения искусственного интеллекта, в частности с его разделами: нейрокомпьютинг, распознавание образов, многоагентные системы, принятие решений и экспертные системы, развивающиеся интеллектуальные информационные системы.

На рис. 5 в обобщенном виде представлена схема взаимодействия пары «Трансдисциплинарность ↔ Информатика».

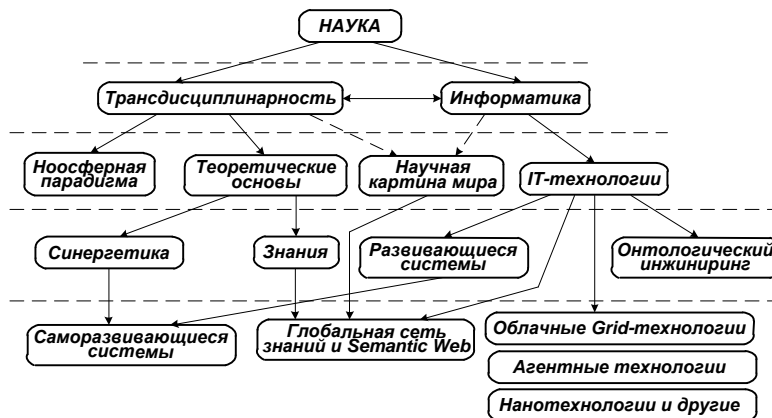


Рис. 5

Развитие и применение интеллектуальных информационных систем (ИИС) в различных областях человеческой деятельности привели к созданию ИИС нового класса, сочетающих в себе свойства ТД, онтологического управления, объединенных концепциями целеустремленного развития и виртуальности. Это класс ТД развивающихся онтолого-управляемых систем исследовательского проектирования. Кроме задач инфраструктурной поддержки научных исследований здесь на первый план выходят задачи их методологического сопровождения и обеспечения процессов интеграции, конвергенции, унифицированного представления ТД-знаний и операций над ними. Суще-

ственную роль играет системологическая подготовка навыков и расширение диапазона мировоззрения научных исследователей для обеспечения двуединства концепций углубления знаний в конкретной предметной области, с одной стороны, и расширения охвата проблемы, исходя из реальности единства мира и необходимости формирования единой системы знаний о мире, — с другой [28].

Главная особенность развивающихся (саморазвивающихся) информационных систем состоит в том, что они вобрала в себя свойства как сложных естественно-природных, в первую очередь биологических систем, так и современных систем искусственного интеллекта. Этот процесс взаимного «оплодотворения» двух данных систем неслучаен и подчиняется общему закону ноосферогенеза, открытому около столетия назад академиком В.И. Вернадским. Все космические, биологические, социальные, антропогенные и информационные системы подчиняются этому закону и относятся к классу сложных развивающихся (эволюционирующих) систем. Развитие таких систем связано с приобретением и накоплением новых качественных признаков и появлением в реальном времени новых уровней организации, которые являются результатом взаимодействия системы с внешней средой, основанного на принципе обратной связи. Законы такого взаимодействия, как правило, выходят за рамки целевой причинности и в силу ситуационной неопределенности, возникновения аттракторов, процессов дифференциации-интеграции приводят к изменению главной линии развития, а иногда непрогнозируемой потере устойчивости, что должно быть предметом особого внимания научных исследователей.

С рассматриваемых позиций все развивающиеся информационные системы можно разделить на четыре взаимосвязанных класса:

- генетические;
- с виртуальной архитектурой и реконфигурацией;
- знание-ориентированные;
- трансдисциплинарные.

Кроме того, они включают в себя два принципиально различных подкласса: автономные и неавтономные системы. Последние предназначены для активного человеко-машинного взаимодействия, а точнее — естественного и искусственного интеллекта.

Примеры интеллектуальных технологий и компьютерных систем, таких как «Системы исследовательского проектирования», «Многоагентные технологии и нейрокомпьютинг», «Grid-компьютинг и облачные вычисления» рассмотрены в [5].

Как указывалось выше, области применения ТД-исследований постоянно расширяются, что, в свою очередь, требует постоянного совершенствования информационных (в том числе и суперкомпьютерных) технологий их поддержки. При этом к требованиям добавляется социальная составляющая, для которой преобладают параметры надежности, эффективности и безопасности.

При рассмотрении процесса естественного развития науки и повышения требований к ней со стороны общества основой управления ТД-исследованиями должна стать интегрированная информационно-технологическая система, которая обеспечит организационные процессы, мониторинг научных исследований, регламентирует все этапы их жизненного цикла и электронного документооборота, анализ и оценивание результатов исследований, принятие решений и определение актуальных направлений и т.д. В результате создается общее интегрированное

пространство ТД-знаний, где синергетически могут взаимодействовать многочисленные коллективы профессионалов разных предметных областей, которые сосредоточат внимание на решении наиболее важных ТД научно-практических проблем [30].

Ядро интегрированных информационных технологий для ТД научных исследований составляют системно интегрированные базы конструктивно представленных знаний, распределенные знание-ориентированные услуги, обеспечивающие высокоорганизованный доступ к информационным и вычислительным ресурсам, выполнение таких функций: выявление закономерностей, поддержка принятия решений, виртуализация кооперативного взаимодействия, аутсорсинг, применение современных методов обработки мультимедийных информационных ресурсов в виртуальном гиперпространстве.

Переход от недетерминированного режима продуцирования и использования знаний субъектами научного процесса к режиму эффективного управления знаниями, представленными в унифицированной форме на всех этапах их жизненного цикла, обеспечит рост результативности и качества научных исследований. При этом устойчивое знание станет интеллектуальным капиталом, а субъекты науки — непосредственными участниками экономической деятельности общества, что создаст благоприятные условия для стимулирования развития как самой науки, так и креативного общества [30].

ТД в свою очередь выдвигает требование интеграции научных дисциплин на основе формализма, единого для всех предметных областей. В качестве такового выступает формальная компьютерная онтология. Отсюда процесс ноосферогенеза опирается на парадигматический кортеж ⟨ноосфера–НКМ–трансдисциплинарность–онтологическая концепция–прикладные интеллектуальные системы и технологии⟩.

Итак, сформулируем открытую (дополняемую и развивающуюся) систему требований к информационным технологиям поддержки ТД-исследований.

1. Новые компьютерные технологии должны быть построены на основе знаний, адекватных процессам решения проблем в науке, природе и обществе.

2. Непрерывное совершенствование как самих технологий, так и методов манипулирования ими.

3. Информация и знания обладают свойством идемпотентности, а следовательно, информационные технологии должны поддерживать это свойство (information sharing and knowledge sharing).

4. Должны поддерживаться перспективные современные методы обработки данных, информации и знаний, в том числе:

— тесное взаимодействие с Grid-, Облачными- и Суперкомпьютерными технологиями;

— способность к обработке больших объемов данных (Big Data);

— многофакторность аутентификации;

— ориентация на Green computing (экотехнологии).

### **Заключение**

Учение В.И. Вернадского о ноосфере по своей сути апеллирует к НКМ, которую необходимо строить для того, чтобы преодолеть МД-барьеры и повысить эффективность междисциплинарного взаимодействия и современной науки в целом. Речь идет о создании всеобщего ТД-знания.

Развитие NBIC-кластера конвергенции открывает широкие, пока полностью не оцененные возможности глобального знание-ориентированного Интернета, а с ним и всей современной цивилизации. Очевидно, это развитие будет идти по пути создания вначале прикладных распределенных систем в конкретных предметных областях (Интернет-вещей, smart-системы в телемедицине, экологическом мониторинге, информационном сопровождении товаров и услуг, энергетических системах, коммунальных службах и пр.). Центральное место в них займут Grid-, Blockchain-технологии и Cloud-computing, а также виртуальные организации, структуры и сервисы.

Таким образом, проблемы эффективной поддержки ТД научных исследований приводят к формированию и системному анализу сервис-ориентированной парадигмы ноосферогенеза, трансдисциплинарного подхода, онтологической концепции, НКМ с учетом перспективных и информационных технологий. Сущностная функция этой парадигмы полно определена и, по сути, составляет методологическую основу современных научных исследований как основы развития цивилизации. Ноосферология, как отмечалось выше, — это целостная совокупность знаний, обеспечивающая гармоническое взаимодействие в системе «Человек–Природа» под управлением научной мысли и воли человека. Она органично связана с научной и технологической компонентами развития цивилизации. Развитие науки перешло от стадии дифференциации к стадии интеграции, обеспечив возможность реализации ТД-концепции развития науки, которая апеллирует к НКМ при постановке и проведении научных исследований и выполнении сложных исследовательских проектов. Без нее немислим целенаправленный позитивный процесс ноосферогенеза. Здесь выполняет свою миссию информатика как системообразующая отрасль знаний. В ее недрах зародилась онтологическая концепция, сущность которой состоит в формальном онтологическом описании предметных областей и НКМ в целом (процесс только начат). Наконец, современные информационные технологии уже стали основой практически всех Hi Tech и построения знание-ориентированного общества, способного разрешить все существенные противоречия развития современной (технологической) цивилизации. Процесс интеллектуализации информационных технологий ориентирован, в первую очередь, на сложные фундаментальные и прикладные научные исследования, вот почему системы knowledge engineering и knowledge management занимают особое место в разделе информатики, называемом «Искусственный интеллект» [25, 31].

*О.В. Палагін, М.Г. Петренко*

### **МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ РОЗВИТКУ, СТАНОВЛЕННЯ ТА ІТ-ПІДТРИМКИ ТРАНСДИСЦИПЛІНАРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ**

Розроблено засади методології трансдисциплінарного системного підходу до постановки та виконання наукових досліджень і складних прикладних проектів з акцентом на їх ІТ-підтримку з використанням методів і засобів штучного інтелекту, зокрема онтологічного інжинірингу. Визначено етапи становлення теорії трансдисциплінарності, в яких особливе місце займають процеси побудови категоріального рівня концептів та інтеграції

предметних знань, формування кластерів конвергенції предметних дисциплін, наукової картини світу і відповідної глобальної мережі трансдисциплінарних знань.

*A.V. Palagin, N.G. Petrenko*

## METHODOLOGICAL FOUNDATIONS FOR DEVELOPMENT, FORMATION AND IT-SUPPORT OF TRANSDISCIPLINARY RESEARCHES

The fundamentals of the methodology of the transdisciplinary system approach to the formulation and implementation of scientific research and complex applied projects are developed with an emphasis on their IT-support using methods and means of artificial intelligence, in particular ontological engineering. The stages of formation of the theory of transdisciplinarity are determined, in which the processes of constructing a categorical level of concepts and the integration of subject knowledge, the formation of clusters of convergence of subject disciplines, the scientific picture of the world and the corresponding global network of transdisciplinary knowledge take a special place.

1. *Черникова И.В.* Трансдисциплинарные методологии и технологии современной науки // Вопросы философии. — 2015. — № 4. — С. 26–35.
2. *Широков В.А.* Эволюция как универсальный естественный закон (пролегомены к будущей общей теории эволюции). Часть первая // Бионика интеллекта. — 2017. — № 1. — С. 3–14. — <https://ru.wikipedia.org/wiki/Трансгуманизм>.
3. *Jean Piaget.* L'épistémologie des relations interdisciplinaires, in Léo Apostel et al, 1972.
4. *Палагин А.В., Петренко Н.Г.* Развитие и становление трансдисциплинарных и междисциплинарных исследований и роль информатики // Компьютерное моделирование: анализ, управления, оптимизация. — Дніпро : ДВНЗ Український державний хіміко-технологічний університет, 2018. — № 1 (3). — С. 46–70.
5. *Князева Е.Н.* Трансдисциплинарные стратегии исследования // Вестник ТГПУ (TSPU Bulletin). — 2011. — № 10 (112). — С. 193–201.
6. *Киященко Л.П., Гребенщикова Е.Г.* Современная философия науки: трансдисциплинарные аспекты. — М. : МГМСУ, 2011. — 172 с.
7. *Кургаев О.П.* Эволюция структуры объекта науки // Кибернетика и системный анализ. — 2016. — 52, № 2. — С. 11–21.
8. [http://www.anoitt.ru/cabdir/about\\_td.php](http://www.anoitt.ru/cabdir/about_td.php).
9. *Мокий В.С.* Методология трансдисциплинарности-4: 3-е изд., испр. и допол. — Нальчик : АНОИТТ, 2017. — 112 с.
10. *Jantsch E.* Vers l'interdisciplinarité et la transdisciplinarité dans l'enseignement et l'innovation, in Léo Apostel et al, 1972.
11. *Erich Jantsch.* Technological planning and social futures, cassell/associated bussiness programmes, London, 1972.
12. *Гуреев П.М.* Современная наука и методология трансдисциплинарности. — КиберЛенинка — научная электронная библиотека. — URL: <https://cyberleninka.ru/search?q=современная+наука+и+методология+трансдисциплинарности> (дата обращения 26.02.2018).
13. *Колесникова И.А.* Трансдисциплинарная стратегия исследования непрерывного образования // Непрерывное образование: XXI век. — 2014. — Вып. 4(8) URL: — <http://III21.petrstu.ru/journal/article.php?id=2261> (дата обращения 07.01.18).
14. *Степин В.С.* Теоретическое знание, 1989. — URL: <http://philosophy.ru/library/stepin/index.html> (дата обращения 08.01.2018).
15. *Палагин А.В.* Проблемы трансдисциплинарности и роль информатики // Кибернетика и системный анализ. — 2013. — № 5. — С. 3–13.



17. Прайд В., Медведев Д.А. Феномен конвергенции: реальности и ожидание // *Философские науки*. — 2008. — № 1. — С. 97–117.
18. Киященко Л.П. Когнитивная инновация в фокусе философии трансдисциплинарности // *Знание. Понимание. Умение*. — 2012. — № 2. — С. 34–49.
19. *The new production of knowledge: The dynamics of science and research in contemporary societies* / M. Gibbons, H. Nowotny, C. Limoges, S. Schwartzman, P. Scott, M.L. Trow, 1994.
20. Киященко Л.П., Моисеев В.И. *Философия трансдисциплинарности*. — М. : ИФРАН, 2009. — 205 с.
21. Кургаев А.Ф., Григорьев С.Н. Метаязык нормальных форм знаний // *Кибернетика и системный анализ*. — 2016. — 52, № 6. — С. 11–20.
22. Кургаев А.Ф., Григорьев С.Н. Нормальные формы знаний // *Доповіди НАН України*. — 2015. — № 11. — С. 36–43.
23. Pohl C., Hadorn G. *Principles for Designing Transdisciplinary Research*. — München, 2007. — <http://www.transdisciplinarity.ch>.
24. Палагин А.В., Крытый С.Л., Петренко Н.Г. *Онтологические методы и средства обработки предметных знаний*. — Луганск: изд. ВНУ им. В. Даля, 2012. — 324 с. — <http://www.aduis.com.ua/Monography.pdf>.
25. Палагин О.В. Трансдисциплинарность, информатика и развитие современной цивилизации // *Вісник НАН України*. — 2014. — № 7. — С. 25–33.
26. Величко В.Ю., Попова М.А., Приходнюк В.В., Стрижак О.Є. ТОДОС — IT-платформа формування трансдисциплінарних інформаційних систем // *Системи озброєння і військова техніка*. — 2017. — № 1(49). — С. 10–19.
27. Палагин О.В., Петренко М.Г. *Тлумачний онтографічний словник з інженерії знань*. — Київ : Інтерсервіс, 2017. — 478 с.
28. Палагин А.В. Введение в класс трансдисциплинарных систем исследовательского проектирования // *УСиМ*. — 2016. — № 6. — С. 3–11.
29. Войшвилло Е.К. *Понятие*. — Изд-во Москов. ун-та, 1967. — 288 с.
30. Кургаев О.П., Палагин О.В. До питання інформаційної підтримки наукових досліджень // *Вісник НАН України*. — 2015. — № 8. — С. 33–48.
31. Палагин А.В. Онтологическая концепция информатизации научных исследований // *Кибернетика и системный анализ*. — 2016. — № 1. — С. 3–9.

Получено 06.06.2018