

# НАУЧНО • ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Серия 2. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ И СИСТЕМЫ  
ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СБОРНИК

Издается с 1961 г.

№ 8

Москва 2017

## ОБЩИЙ РАЗДЕЛ

УДК [001.101 : 001.894] : 6

В. А. Минин, И. М. Зацман, В. А. Хавансков, С. К. Шубников

### Методы индикаторного оценивания процессов переноса знаний из области научных исследований в сферу технологического развития\*

*Рассматривается индикаторное оценивание информационных связей науки и технологий. Индикаторы связей определяются как число или матрица числовых значений, которые характеризуют интенсивность и различные аспекты процесса переноса знаний из разных областей исследований в сферу технологий. Дано описание первичных информационных ресурсов, используемых для определения значений этих индикаторов, включая полнотекстовые описания изобретений. Приводится описание вторичных информационных ресурсов, генерируемых в процессе обработки полнотекстовых описаний, включая информацию о ссылках на научные публикации, цитируемые в описаниях. Исходные и вторичные ресурсы использовались при создании и апробации информационной модели индикаторного оценивания связей науки и технологий, на основе которой были определены значения интегрального и тематических индикаторов интенсивности переноса научных знаний в сферу разработки информационных технологий.*

**Ключевые слова:** информационные взаимосвязи науки и технологий; цитирование научных работ; интенсивность процесса переноса знаний; индикаторное оценивание; информационные технологии

\* Исследование выполнено в Институте проблем информатики ФИЦ ИУ РАН при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта по гранту № 16-07-00075.

## ВВЕДЕНИЕ

Причина пристального внимания к индикаторному оцениванию процессов переноса знаний в сферу технологического развития заключается в том, что финансирование поисковых научных исследований, ориентированных на создание научно-технического задела для разработки перспективных технологий, связано с риском получения отрицательных результатов. Это с одной стороны. С другой стороны, в условиях ограничения финансирования есть вероятность не получить необходимые перспективные научные результаты, новые прорывные решения и, как следствие, потерять конкурентоспособность – как отдельных предприятий в конкретной технологической сфере, так и национальной экономики в целом.

При решении проблемы повышения конкурентоспособности один из главных вопросов заключается в развитии технологической сферы, где важную роль играет степень освоения в технологиях результатов научных исследований, создающих научно-технический задел. Соответственно, наша работа направлена на разработку моделей, методов и технологий для исследования степени воздействия результатов научных исследований по разным направлениям на развитие сферы технологий. Здесь было важно выбрать тот подход, который позволил бы зафиксировать факт использования в технологической сфере результатов научных исследований. Для обоснования выбранного подхода необходимо кратко остановиться на некоторых особенностях описания и экспертизы изобретений.

Как правило, технологические решения защищены совокупностью патентов на изобретения. В связи с этим эффективным подходом, фиксирующим факт использования в технологической сфере научных результатов, является анализ содержания описаний изобретений, в которых есть ссылки на публикации, содержащие данные об этих результатах.

Каждое изобретение является продуктом целенаправленной деятельности человека (автора(-ов) изобретения), использующего для его создания как свои личные знания и опыт, так и доступную информацию, включая описания результатов научных исследований, что косвенно выражается в том, что в описаниях изобретений авторы нередко ссылаются на научные публикации, содержащие сведения об этих результатах. Кроме того, ссылаться на научные публикации может и эксперт, который анализирует заявку на изобретение на предмет новизны технического решения и отражает результат своего анализа в отчете об информационном патентном поиске, а также в соответствующем поле библиографических данных изобретения.

Таким образом, и описание изобретения, и поле библиографических данных, содержащие ссылки на цитируемые научные публикации, являются основным документированным источником для изучения информационных взаимосвязей науки и технологий, отражающих процесс переноса знаний из разных областей научных исследований в сферу технологий. Используемый в нашей статье подход к исследованию процессов переноса знаний основан на анализе массива тех описаний изобретений, которые содер-

жат ссылки на цитируемые авторами этих изобретений научные публикации.

Такой подход начал активно разрабатываться более 30 лет назад [1–9]. При этом использовались более ранние работы Прайса, Тойнби, Гарфилда и др. Первые результаты, полученные в рамках этого подхода, были тематически ориентированными. Например, в 1985 г. Ф. Нарин и Е. Нома [4] провели сопоставительный анализ библиографических ссылок на статьи по биологии в описаниях изобретений по биотехнологиям и в запатентованных решениях, описанных в этих изобретениях.

Аналогичные работы по исследованию процессов переноса знаний проводятся на протяжении ряда лет в Институте проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» РАН (опыт работы в этом направлении позволил вычислить значения ряда индикаторов [10–18]) в рамках работ этого Института по направлению «Мониторинг и индикаторное оценивание научной деятельности» [19–23].

В настоящей работе обобщаются полученные ранее результаты и предлагается развитие этого подхода в следующих направлениях:

- учет многообразия типов научных документов, цитируемых в патентуемых изобретениях, что позволяет оценивать и сопоставлять интенсивность переноса научных знаний по разным каналам (журнальные статьи, труды конференций, книги и т.п.);
- моделирование процесса определения значений индикаторов интенсивности переноса научных знаний, которое позволяет уточнять смысловые значения индикаторов разных видов и учитывать разные аспекты цитирования в описаниях изобретений (например, цитирование научных публикаций авторами изобретений и/или экспертами).

Настоящая статья посвящена изложению этих направлений развития одного из традиционных подходов к определению значений индикаторов интенсивности переноса (ИИП) знаний, использованного, например, в работе [3], и включает:

- ♦ описание и анализ первичных и вторичных информационных ресурсов, необходимых для определения значений ИИП знаний,
- ♦ представление системы основных терминов, используемых для постановки и решения задач определения значений ИИП знаний,
- ♦ описание метода и модели процесса определения значений ИИП знаний.

## ОЦЕНИВАНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ПЕРЕНОСА НАУЧНЫХ ЗНАНИЙ

Перечисленные направления развития во многом обуславливают спектр информационных ресурсов (ИР), необходимых для исследования процесса переноса научных знаний и выявления значений ИИП. Термин «индикатор интенсивности переноса – ИИП» мы определяем как число или матрицу, значения которых: а) характеризуют некоторый аспект интенсивности переноса научных знаний; б) определяются по заданному методу и соответствующему ему сце-

нарию обработки ИР, необходимых для отражения именно этого аспекта интенсивности.

Мы рассматриваем широкий спектр индикаторов, которые делятся на две основные категории: интегральные (ИИП-И) и тематические (ИИП-Т). ИИП-И дают обобщенное представление об интенсивности переноса знаний. Тематические индикаторы делятся на виды и дают тематически ориентированное представление о направленности переноса. Предлагаемый перечень видов ИИП-Т позволяет характеризовать процесс переноса знаний многоаспектно.

Сценарий обработки информационных ресурсов, о котором идет речь в определении термина ИИП знаний, включает следующие позиции, которые выделяются согласно цели нашего исследования.

1. Описание исследуемых технологий с помощью индексов Международной патентной классификации<sup>1</sup> (МПК).

2. Временной промежуток (год начала – год окончания), в течение которого были поданы заявки на выдачу патентов или выданы патенты на изобретения, описания которых обрабатываются в рамках сценария.

3. Классификатор направлений научных исследований (ННИ), используемый для рубрицирования научных публикаций, на которые есть ссылки в описаниях изобретений.

4. Типы цитируемых научных публикаций (книги, журнальные статьи, труды конференций и т.п.).

5. Виды ИИП и списки индикаторов интенсивности переноса знаний каждого из них.

Информационные ресурсы, используемые для определения значений ИИП, делятся на два основных типа:

1) *первичные информационные ресурсы*, которые могут быть получены из Роспатента (описания изобретений, их библиографические данные и т.п.);

2) *вторичные информационные ресурсы*, формируемые в результате обработки первичных ИР по заданному сценарию.

Формирование сценария обработки информационных ресурсов предполагает, в первую очередь, описание той области технологической сферы, интенсивность переноса научных знаний в которую является предметом исследования. Как следует из определения понятия «сценарий», анализируемая технологическая область описывается с помощью совокупности индексов МПК. Подобное описание технологической области позволяет достаточно просто сформировать соответствующей ей массив первичных информационных ресурсов, извлекая их из информационной системы Роспатента в виде полных текстов описаний изобретений к патентам (рис. 1).

Система Роспатента содержит информацию о патентуемых изобретениях, а также отчеты<sup>2</sup> экспертов

Роспатента о патентном поиске, проведенном в процессе экспертизы заявки на изобретение. В отчетах могут содержаться дополнительные (по отношению к авторскому описанию изобретения) ссылки на научные публикации. Частично данные отчета о поиске отражаются в описании изобретения в виде ссылок на патентные и непатентные публикации, приводимые в библиографических данных изобретения, размещенных в отдельном поле с меткой 56.

По нашему сценарию осуществляется сначала поиск в описаниях изобретений ссылок автора изобретения и/или эксперта<sup>3</sup> на цитируемые научные публикации, а затем - их последующее рубрицирование (рис. 2).

По результатам поиска формируются вторичные информационные ресурсы в виде массива ссылок на публикации (о методе выделения ссылок на публикации см. [14]).

На стадии рубрицирования цитируемых научных публикаций, для каждой из них согласно заданному в сценарии Классификатору направлений научных исследований (ННИ) определяется та или иная рубрика (об используемом методе рубрицирования см. [15]). Результат рубрицирования – это коды рубрик, соответствующие научной тематике публикаций, присвоенные им по классификатору ННИ. Используемые первичные и вторичные информационные ресурсы, а также их взаимосвязи с индикаторами интенсивности переноса показаны на рис. 2.

К первичным информационным ресурсам относятся МПК и классификаторы ННИ. При этом, согласно сценарию, цитируемые публикации могут быть рубрицированы либо с использованием классификатора фундаментальных наук (например, классификатора РФФИ), либо с использованием классификатора более прикладного характера (например, классификатора ГРНТИ).

Перечень первичных и вторичных информационных ресурсов, используемых при определении значений ИИП разных видов (см. рис. 2), приведен в табл. 1. Рассмотренные ресурсы, дополненные системой внутренних связей, являются основой для моделирования процесса определения значений ИИП знаний.

В статье [18, см. табл. 1] были приведены значения ИИП-И (интегральный индикатор) для нескольких видов технологий согласно работе [3] и отмечено, что значения этого интегрального индикатора не зависят от того или иного деления всей системы знаний на отрасли науки и научные направления, так как в нем учитываются все цитируемые в изобретениях научные публикации без их распределения по отраслям и направлениям науки.

По сравнению с таким интегральным учетом цитируемых публикаций, процесс вычисления значений ИИП-Т (тематические индикаторы) может быть основан на разных вариантах деления всей совокупности научных знаний на отрасли науки и дисциплины, что определяется заданным в сценарии классификатором ННИ. От выбора того или иного классификатора ННИ зависит распределение по отраслям науки интегральной интенсивности процесса переноса знаний в сферу технологий.

<sup>1</sup> Индексы МПК представляют собой многоуровневую иерархическую структуру и соответственно уровням обозначаются как разделы, классы, подклассы, группы и подгруппы.

<sup>2</sup> Согласно «Положению об официальных изданиях Федеральной службы по интеллектуальной собственности (утв. приказом Роспатента от 10.09.2013 № 112)» отчеты об информационном поиске по заявкам на изобретение публикуются для заявок, поданных с 01.10.2014 г. (пп. 3.1.1 и 3.1.4).

<sup>3</sup> В данной работе под экспертом понимается сотрудник патентного ведомства, осуществляющий экспертизу заявки на изобретение.

**Информационные ресурсы для определения значений индикаторов интенсивности переноса научных знаний**

Информационный ресурс	Категория ресурса в процессе обработки
Массив описаний изобретений	Первичный
Массив библиографических данных изобретений	Первичный
Индексы МПК	Первичный
Классификаторы ННИ	Первичный
Массив отчетов об информационном патентном поиске	Первичный
Массив ссылок на научные публикации с рубриками ННИ	Вторичный
Массив связей рубрик ННИ и индексов МПК	Вторичный

<p>РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ</p>  <p>ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ</p>	<p>(19) <b>RU</b> <sup>(11)</sup> <b>2439705</b> <sup>(13)</sup> <b>C1</b></p> <p>(51) МПК <b>G06Q90/00</b> (2006.01)</p>
<p>(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ</p> <p align="right">Статус: по данным на 07.09.2016 - прекратил действие</p>	
<p>(21), (22) Заявка: 2010118922/08, 11.05.2010</p> <p>(24) Дата начала отсчета срока действия патента: 11.05.2010</p> <p>Приоритет(ы): (22) Дата подачи заявки: 11.05.2010</p> <p>(45) Опубликовано: <a href="#">10.01.2012</a></p> <p>(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: БУЛКИН М.А. и ДУБИЦКИЙ Л.Г. Информативность и приоритетность параметров при оценке качества продукции, Электронная техника, серия № 8. - М.: Математическая статистика, 1972, № 5. EP 0000990966 A2, 15.03.2006. EP 0001390822 B1, 28.09.2005. RU 2007103163 A, 10.08.2008.</p> <p>Адрес для переписки: 350072, г.Краснодар, ул. Московская, 2, ГОУ ВПО "КубГУ", отдел интеллектуальной и промышленной собственности, проректору по НИИД, проф. В.С. Симанкову</p>	<p>(72) Автор(ы): Петриченко Григорий Семенович (RU), Нарыжная Наталья Юрьевна (RU), Срур Мохаммад Юсеф (RU)</p> <p>(73) Патентообладатель(и): Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Кубанский государственный технологический университет" (ГОУ ВПО "КубГУ") (RU)</p>
<p>(54) СПОСОБ ОЦЕНКИ ИНФОРМАТИВНОСТИ И ПРИОРИТЕТНОСТИ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КОМПЬЮТЕРНОЙ СЕТИ</p> <p>(57) Реферат:</p> <p>Изобретение относится к области вычислительной техники, а именно к области контроля технического состояния (ТС) вычислительной техники, мониторинга их работы и инспектирования. Техническим результатом является повышение эффективности диагностики ТС компьютерной сети (КС) и сокращение времени диагностики. В способе с помощью анализатора измеряют характеристики технического состояния компьютерной сети, вычисляют в блоке обработки данных среднее значение каждого параметра и общее среднее значение параметров по числу</p>	

Рис. 1. Описание изобретения к патенту с указанием документов, цитируемых в отчете о поиске (см. поле с меткой 56)

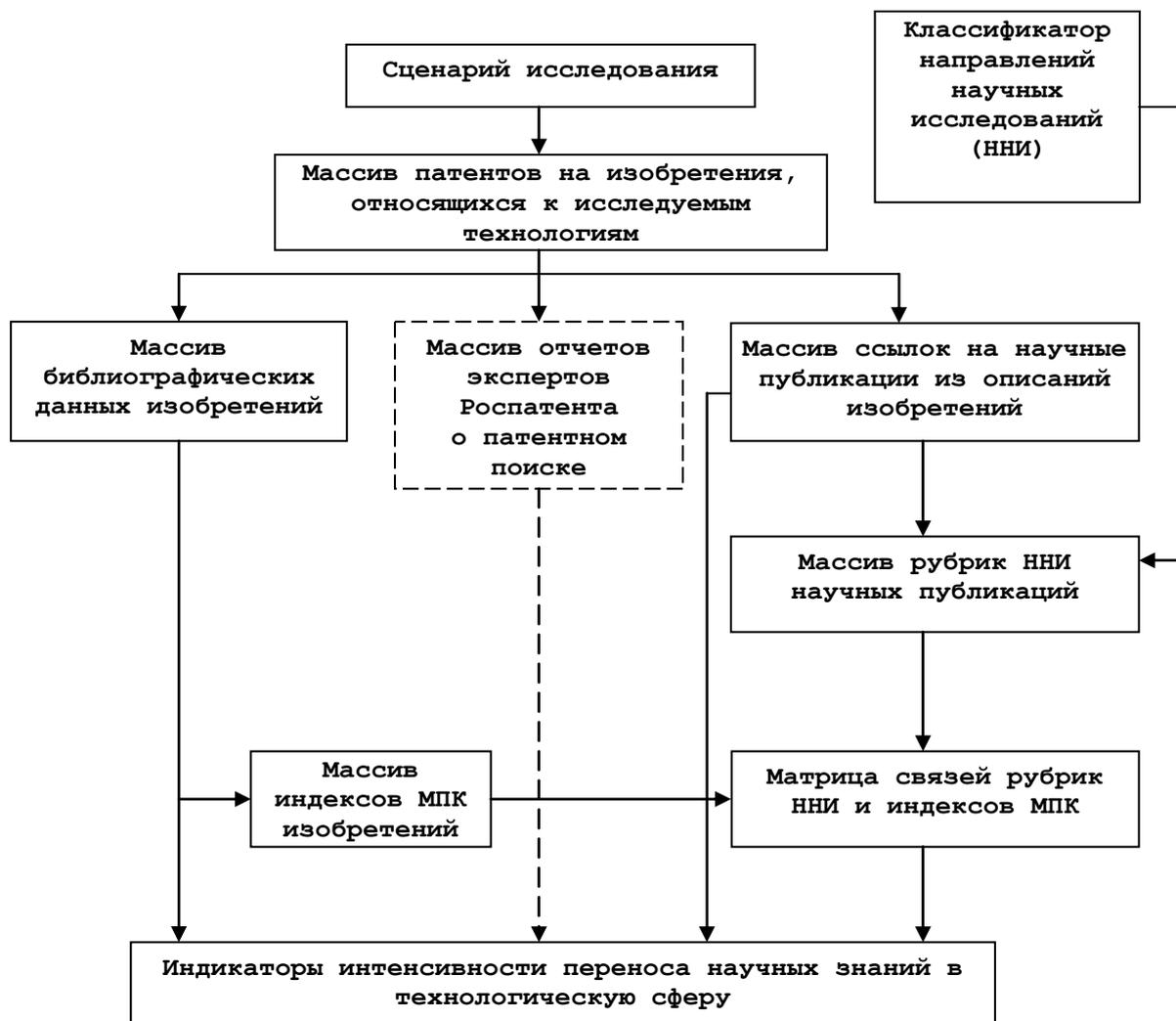


Рис. 2. Первичные и вторичные ИР, используемые при определении значений индикаторов интенсивности переноса

## СИСТЕМА ТЕРМИНОВ

Для структурированного описания видов индикаторов, модели и метода вычисления их значений определим систему терминов, которая будет использоваться далее.

Мы уже дали дефиницию одного из основных терминов – индикатор интенсивности переноса (ИИП). Так как речь идет о переносе *знаний* в технологическую сферу, то в качестве первого основания категоризации ИИП будем рассматривать распределение переносимых знаний по отраслям науки и дисциплинам в дихотомии «фундаментальные – прикладные».

Одна категория индикаторов отражает использование в изобретениях результатов фундаментальных исследований, другая – прикладных научных исследований. Если в сценарии заменить фундаментальный классификатор на прикладной, то это будет означать переход к другому варианту распределения всей совокупности научных знаний по рубрикам НИИ и, следовательно, к тематическим индикаторам другой категории (значения ИИП-И по определению не зависят от такого перехода). Этот переход может привести к тому, что две публикации, которые с фундаментальной точки зрения являются тематически близкими, с прикладной точки

зрения будут относиться к разным прикладным тематическим рубрикам. Исходя из этого, предлагаем определить первое основание категоризации индикаторов как дихотомию переноса фундаментального или прикладного знания.

Второе основание категоризации индикатора интенсивности переноса базируется на использовании данных из публикуемого Роспатентом реестра отчетов об информационном патентном поиске, которые готовят эксперты Роспатента при проведении экспертиз заявок на изобретение. Согласно пп. 7 и 14 стандарта ST.14 Всемирной организации интеллектуальной собственности (ВОИС) [24], каждую ссылку на публикацию, указанную экспертом, рекомендуется сопровождать символьной маркировкой, которая указывает ее отношение к сути изобретения. Стандарт ST.14 предлагает, в частности, различать следующие виды отношений между цитируемыми публикациями и содержанием изобретения, для обозначения которых используются специальные символы:

- «X» или «Y» – особая релевантность цитируемой публикации, при сопоставлении с которой заявленное изобретение не может рассматриваться как новое или обладающее изобретательским уровнем, что, как правило, влечет отказ в выдаче патента,

• «А» – цитируемая публикация характеризует общий уровень техники в области изобретения и поэтому не рассматривается как основание для отказа в выдаче патента,

• «D» – цитируемая заявителем публикация, на которую делается ссылка в процессе поиска для целей экспертизы (символ «D» всегда должен сопровождаться символами «X», «Y» или «A»),

• «T» – цитируемая публикация, которая необходима для понимания принципов или теории, лежащих в основе изобретения.

С точки зрения исследования взаимосвязей науки и технологий для описания видов индикаторов интересны ссылки на публикации в изобретениях, помеченные символами «А» или «Т», «DA» или «DT». Отметим, что публикации, цитируемые только авторами, не имеют последних двух пар символов. Использование перечисленных символов дает возможность определить еще три вида индикаторов по второму основанию в зависимости от того, кто процитировал научную публикацию: автор изобретения и/или эксперт.

Для введения третьего основания категоризации индикаторов отметим, что число тех публикаций, которые цитируются в описании изобретения и при этом относятся к одной тематической рубрике используемого классификатора, в разных изобретениях может существенно различаться. Однако наличие в описании изобретения только одной такой ссылки уже свидетельствует о возможном случае переноса знаний, относящихся к этой рубрике. Если цитируемых публикаций, имеющих одну и ту же рубрику классификатора, в одном описании изобретения – несколько, то вторую и последующие ссылки можно рассматривать как повторное подтверждение случаев переноса знаний, относящихся к этой рубрике. Таким образом, третье основание категоризации состоит в учете или неучете таких повторений в описании изобретений, в которых цитируются публикации. Тогда появляется

возможность определить два вида индикатора по третьему основанию: «фактический», когда учитывается наличие той или иной рубрики классификатора у одной или нескольких публикаций без учета повторений, и «частотный», когда учитывается число повторений рубрик классификатора у публикаций, цитируемых в одном изобретении. Далее будет приведен пример ИИП научных знаний с учетом повторений.

Таким образом, рассмотрены три основания категоризации (первое применимо только к ИИП-Т), которые в совокупности дают возможность предложить типологию индикаторов, включающую 35 их видов (табл. 2, рис. 3).

Учет всех трех оснований категоризации порождает три уровня типологии индикаторов. В приведенной на рис. 3 схеме серым фоном выделены те 7 видов индикаторов, которые уже применялись ранее [3].

Использование рассмотренных видов ИИП знаний позволяет существенно расширить их спектр (с 7 до 35 видов с учетом трех оснований категоризации). Строго говоря, только для 12 видов индикаторов третьего уровня заданы значения каждого из трех оснований категоризации. Для остальных 23 видов заданы значения только одного или двух оснований, т. е. каждый из них является сочетанием видов ИИП третьего уровня.

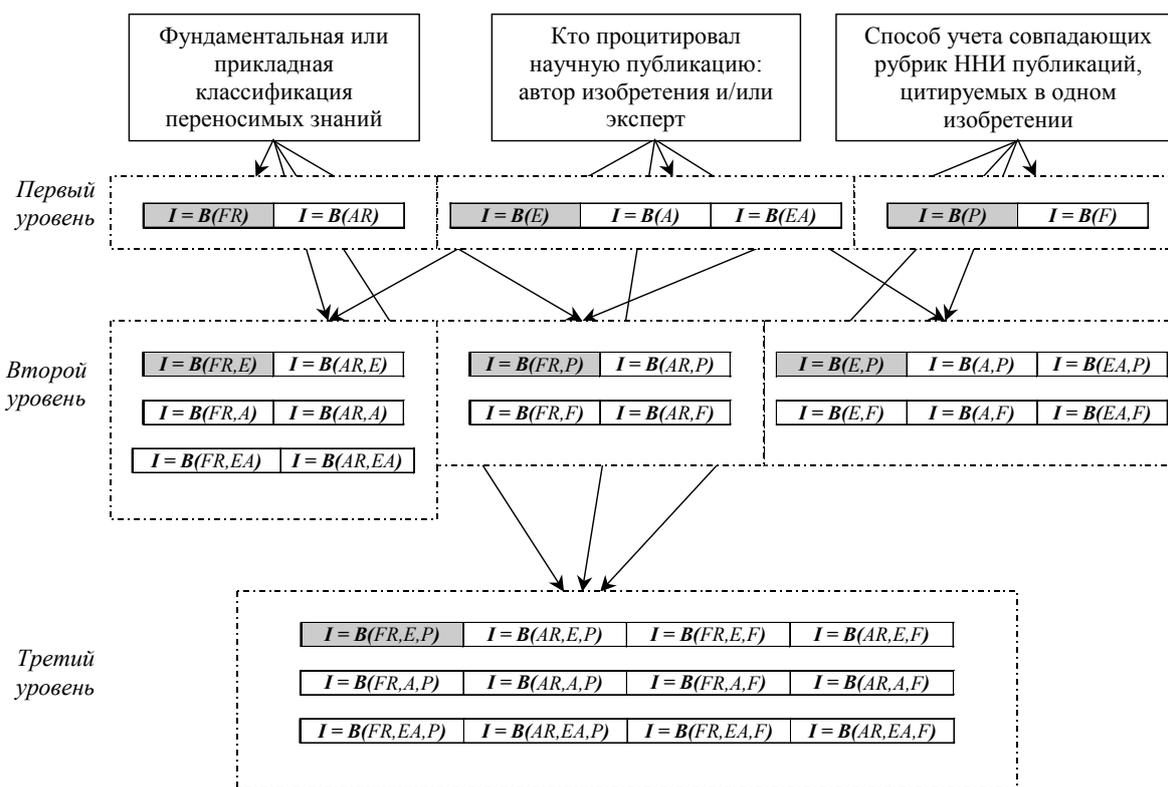
Например, ИИП вида  $I = B(FR)$  первого уровня является сочетанием шести видов ИИП ( $B(FR, E, P)$ ,  $B(FR, A, P)$ ,  $B(FR, EA, P)$ ,  $B(FR, E, F)$ ,  $B(FR, A, F)$  и  $B(FR, EA, F)$ ), для определения значений которых применяется фундаментальная классификация направлений научных исследований.

Отметим, что при определении значений индикаторов интенсивности переноса каждого вида используются значения ряда библиографических полей изобретений и цитируемых в них публикаций. Число таких полей определяет спектр индикаторов внутри каждого вида ИИП.

Таблица 2

Три основания категоризации индикаторов интенсивности переноса знаний

Основание категоризации индикаторов	Аспект (код основания категоризации)	Вид ИИП
Фундаментальная или прикладная классификация переносимых знаний (применимо только к ИИП-Т)	K – knowledge type	Фундаментальный (FR – fundamental research)
		Прикладной (AR – applied research)
Кто процитировал научную публикацию: автор изобретения и/или эксперт	R – relation type	Экспертный (E – expert)
		Авторский (A – author)
		Экспертно-авторский (EA)
Способ учета совпадающих рубрик классификатора для публикаций, цитируемых в одном изобретении	C – computation type	Фактический (P – presence)
		Частотный (F – frequency)



$I = B(X)$ ,  $I = B(X, Y)$  и  $I = B(X, Y, Z)$  обозначают виды индикаторов, построенные, соответственно, с учетом одного, двух или трех оснований категоризации

Рис. 3. Виды индикаторов интенсивности переноса знаний

## МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗНАЧЕНИЙ ИНДИКАТОРОВ

Рассмотренные нами в предыдущем разделе виды индикаторов интенсивности переноса дают возможность описать интенсивность процесса переноса знаний многоаспектно. Сочетание индикаторов разных видов помогает отобразить разнообразие информационных взаимосвязей технологий с направлениями научных исследований. Разные аспекты могут быть представлены как с использованием данных об изобретениях (индекс МПК, страна-заявитель, дата публикации и пр.), так и данных о цитируемых научных публикациях (рубрики классификатора ННИ, тематически связанные с сутью изобретения; фундаментальный или прикладной характер переносимых знаний и т. д.).

Отличительной чертой процесса определения значений ИИП научных знаний является сочетание двух видов обработки информационных ресурсов: лингвистический анализ текста описаний изобретений и вычисление значений индикаторов. Соответственно, весь процесс делится на два этапа: 1) обработка текстов описаний изобретений, отобранных согласно сценарию (и соответствующих отчетов о поиске, если они есть); 2) вычисление значений индикаторов. Сочетание этих двух этапов отражено в модели на рис. 4, которую будем называть лингво-математической. Отметим, что эта модель применима к любой исследуемой технологической сфере. Как видно из

рис. 4, ключевым элементом этой модели является сценарий исследования взаимосвязей науки и технологий. Именно с его помощью организуется процесс определения значений индикаторов.

В сценарии согласно цели исследования должны быть определены:

- 1) технологическая сфера, которая исследуется, что задается с помощью перечня индексов МПК  $\{МПК\}$ ;
- 2) временной период  $\{Период\}$ , для которого проводится исследование процесса переноса знаний;
- 3) характер научных результатов и деление их совокупности на отрасли знания, отражаемые используемым классификатором  $\{Рубрикатор\}$ ;
- 4) типы анализируемых научных публикаций  $\{Тип\}$ ;
- 5) виды индикаторов интенсивности переноса и списки индикаторов для каждого из них  $\{ИИП\}$ .

Совокупность значений первых четырех позиций сценария определяет объем и характер информационных ресурсов, которые будут задействованы для вычисления показателей индикаторов, а пятая – набор их видов. Число индикаторов каждого вида определяется набором тех полей изобретений и цитируемых в них публикаций, которые учитываются при категоризации каждого вида. Например, в работе [18] приведен ряд индикаторов одного вида, значения которых зависят от страны-заявителя.

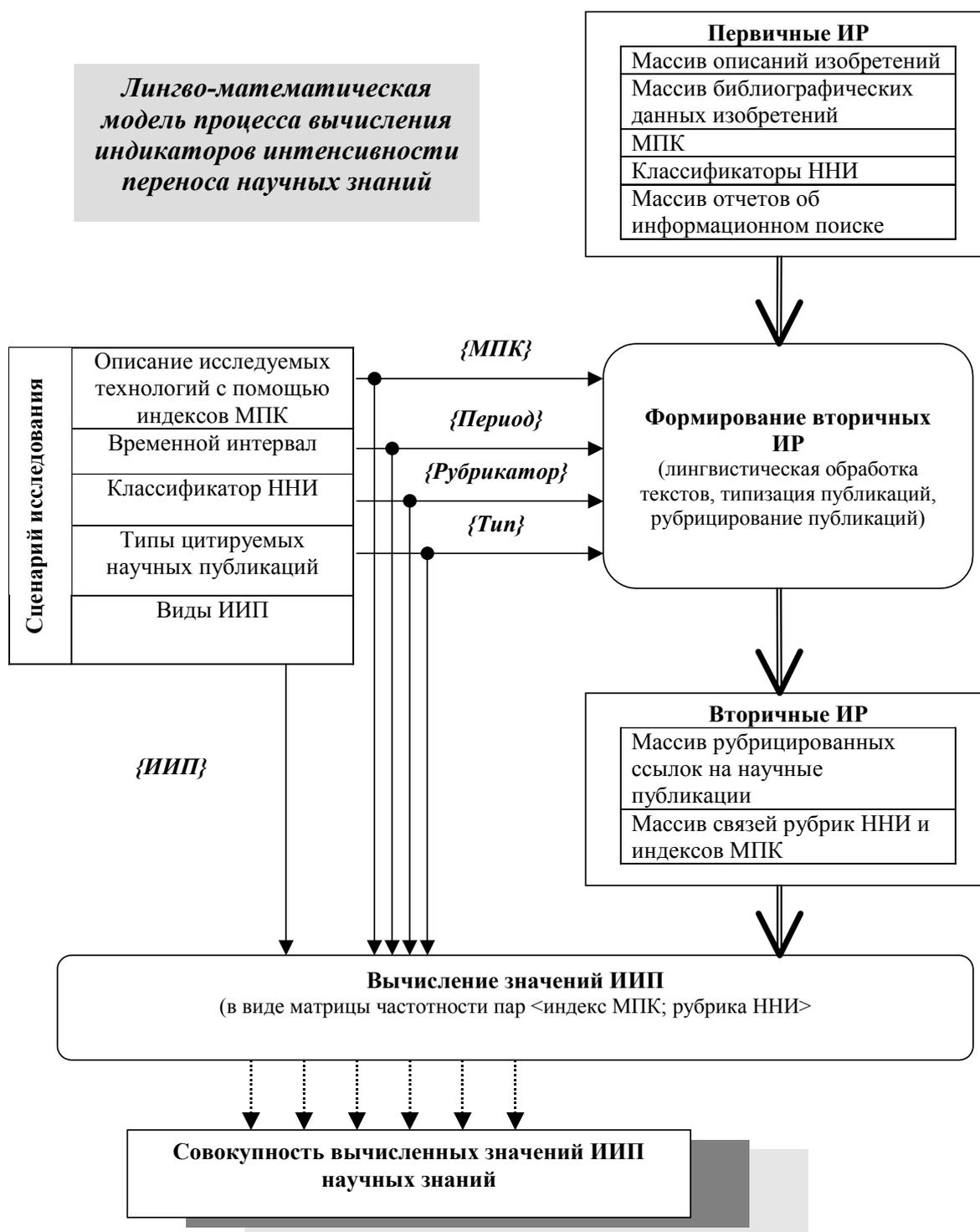


Рис. 4. Модель процесса определения значений индикаторов интенсивности переноса научных знаний

Задавая в сценарии различные комбинации перечисленных позиций, можно получать выборки данных (подмножества описаний изобретений и цитируемых публикаций). Методы, используемые для обработки текстов описаний изобретений, структуризации и рубрицировании научных публикаций, рассмотрены в [14-16].

#### МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗНАЧЕНИЙ ИНДИКАТОРОВ

Базовым понятием метода, используемого для определения значений ИИП знаний из разных областей исследований в сферу технологического развития, является *матрица частотностей*, характеризующая интенсивность переноса знаний. Согласно сценарию

анализируемая технологическая область описывается индексами МПК, а направления научных исследований – рубриками классификатора ННИ. Количественной характеристикой интенсивности переноса являются частотности пар <индекс МПК; рубрика ННИ>, определяемые с помощью разработанного метода. Согласно выбранному подходу предполагается: чем чаще встречается рубрика классификатора ННИ в паре с каким-либо индексом МПК (т. е. выше частотность пары <индекс МПК; рубрика ННИ>), тем значимее влияние результатов исследований по этой рубрике классификатора ННИ на технологическую область с этим индексом МПК. Рассмотрим предлагаемый метод построения матрицы частотностей.

Определение значений каждой ячейки этой матрицы начинается с анализа кортежа вида <изобретение; цитируемая в нем публикация>. В процессе выполнения сценария  $S$  такие кортежи формируются для каждого изобретения из списка, который обозначим как  $P_S = \{p_1, \dots, p_N\}$ , где  $N$  – число описаний изобретений, которые были отобраны в результате выполнения поискового запроса к базе данных Роспатента. В запросе указываются значения параметров  $\{МПК\}$  и  $\{Период\}$  согласно сценарию  $S$ . Параметр  $\{МПК\}$  описывает анализируемую технологическую сферу с помощью совокупности индексов МПК. Каждое изобретение  $p_i$  из списка  $P_S$  характеризуется не пустым множеством индексов МПК  $Q_i = \{q_1^i, \dots, q_{Z(i)}^i\}$ , где  $Z(i)$  – число индексов МПК, указанных в изобретении  $p_i$ .

Для построения необходимого исследователям спектра индикаторов из полей библиографических данных изобретения выделяются, помимо индексов МПК, следующие атрибуты: дата публикации первичной заявки, дата выдачи патента, страна заявителя.<sup>4</sup> Акцентирование внимания на индексах МПК связано с тем, что именно эти индексы используются в процессе формирования матрицы частотностей.

Для каждого описания изобретения  $p_i$  из списка  $P_S$  определяется множество ссылок на цитируемые в нем научные публикации  $\Pi_i = \{\pi_1^i, \dots, \pi_{Y(i)}^i\}$ , где  $Y(i)$  – число публикаций, цитируемых в изобретении  $p_i$ . Следует отметить, что это множество для описаний отдельных изобретений может быть и пустым, если отсутствуют ссылки в описании изобретения.

Каждую упорядоченную пару индекса МПК  $q_m^i$  и ссылки  $\pi_j^i$ , т. е. кортеж вида  $\langle q_m^i, \pi_j^i \rangle$ , будем обозначать как  $\lambda_{m,j}^i$ , где  $m=1, \dots, Z(i)$  ( $Z(i)$  – число индексов МПК, указанных в изобретении  $p_i$ );  $j=1, \dots, Y(i)$  ( $Y(i)$  – число публикаций, цитируемых в описании изобретения  $p_i$ );  $i=1, \dots, N$ .

Для изобретения  $p_i$  совокупность кортежей  $\langle q_m^i, \pi_j^i \rangle$  составляет множество  $A_i = \{\lambda_{m,j}^i, m=1, \dots, Z(i),$

$j=1, \dots, Y(i)\}$ . Множество кортежей  $A_i$  формируется в результате лингвистического анализа описания изобретения  $p_i$ .

В результате рубрицирования ссылок на цитируемые публикации каждой из них присваивается совокупность рубрик заданного в сценарии  $S$  классификатора ННИ. Рубрики определяются по библиографическим данным тех источников, в которых опубликованы цитируемые работы. Одновременно с рубриками определяются год, страна и тип цитируемой научной публикации.

Каждой ссылке  $\pi_j^i$  может быть присвоено несколько рубрик, которые образуют множество  $R_j^i = \{r_{j,1}^i, \dots, r_{j,K(j)}^i\}$ , где  $K(j)$  – число рубрик классификатора ННИ, присвоенных ссылке  $\pi_j^i$ , извлеченной из описания изобретения  $p_i$ . Каждую упорядоченную пару индекса МПК  $q_m^i$  и рубрики  $r_{j,k}^i$ , т. е. кортеж вида  $\langle q_m^i, r_{j,k}^i \rangle$ , будем обозначать как  $\mu_{m,k}^{i,j}$ , где  $m=1, \dots, Z(i)$ ,  $k=1, \dots, K(j)$ ,  $j=1, \dots, Y(i)$ ,  $i=1, \dots, N$ .

Тогда для описания изобретения  $p_i$ , можно определить еще одно множество  $M_i = \{\mu_{m,k}^{i,j}\}$ . Оно включает кортежи вида <индекс МПК, рубрика ННИ> как упорядоченные сочетания индексов МПК одного изобретения  $p_i$  и рубрик классификатора ННИ, присвоенных всем ссылкам на научные публикации, цитируемые в изобретении  $p_i$ . При этом результат формирования множества кортежей  $M_i$  определяется заданным в сценарии  $S$  способом учета совпадающих рубрик ссылок, извлеченных из одного изобретения (фактический или частотный, см. табл. 2). Рубрицирование ссылок на цитируемые публикации завершает лингвистический анализ описаний изобретений в рамках разработанной модели.

Поясним на примере влияние способа учета совпадающих рубрик ссылок на формирование множества  $M_i$ . Предположим, что в описании изобретения  $p_i$ , имеющего только один индекс МПК  $q_1^i$ , найдены две ссылки  $\pi_1^i$  и  $\pi_2^i$  на научные публикации. Для первой из них в результате рубрицирования были определены три рубрики классификатора ННИ:  $R_1^i = \{r_{1,1}^i, r_{1,2}^i, r_{1,3}^i\}$ , для второй – четыре:  $R_2^i = \{r_{2,1}^i, r_{2,2}^i, r_{2,3}^i, r_{2,4}^i\}$ . При этом было установлено, что  $r_{1,2}^i = r_{2,3}^i$ , т. е. обе публикации имеют одну совпадающую рубрику классификатора ННИ, а остальные не совпадают. Тогда, если используется фактический метод учета совпадающих рубрик ссылок, то множество кортежей  $M_i$  для изобретения  $p_i$  имеет вид:

$$M_i = \{ \langle q_1^i, r_{1,1}^i \rangle, \langle q_1^i, r_{1,2}^i \rangle, \langle q_1^i, r_{1,3}^i \rangle, \langle q_1^i, r_{2,1}^i \rangle, \langle q_1^i, r_{2,2}^i \rangle, \langle q_1^i, r_{2,4}^i \rangle \}.$$

Объединение всех множеств  $M_i$  для всех описаний изобретений  $P_S$  дает множество  $M_S$  кортежей вида <индекс МПК, рубрика классификатора ННИ>. По-

<sup>4</sup> Число полей библиографических данных определяет спектр индикаторов каждого вида и, соответственно, исследуемых аспектов процесса переноса знаний.

сле объединения всех  $M_i$  появляется возможность вычислить частотность каждого такого кортежа, т. е. сколько раз он встречается во всем множестве  $M_S$ , иными словами – его частотность в пределах массива кортежей. Если сгруппировать кортежи по каждой паре (индекс МПК, рубрика классификатора ННИ), то число кортежей в группе будет отражать интенсивность переноса знаний из сферы научных исследований с этой рубрикой в анализируемую технологическую область (она задана в сценарии  $S$  перечнем индексов МПК).

Располагая индексы МПК по строкам, а рубрики классификатора ННИ по столбцам (табл. 3), получим искомую матрицу частотности (столбцы 2-9 табл. 3), если в ее ячейку с адресом  $(q_m^i, r_{j,k}^i)$  записать частотность в группе кортежа  $\langle q_m^i, r_{j,k}^i \rangle$ , вычисленную в пределах всего множества  $M_S$ .

Примеры значений частотностей, приведенные в табл. 3, вычислены для одного из индикаторов вида, который на рис. 3 обозначен как  $I = B(AR, A, F)$ . Иначе, значения частотностей получены при следующих условиях обработки информационных ресурсов Роспатента:

- использование прикладного классификатора ННИ;
- учет только тех ссылок на научные публикации, которые привели авторы изобретений;
- учет всех совпадающих рубрик классификатора ННИ публикаций, цитируемых в одном изобретении, т. е. использование частотного способа их учета.

Если просуммировать частотности одной строки, то получим значение интегрального индикатора ИИП-И (столбец 10 табл. 3), отражающего суммарное влияние всех выявленных направлений научных исследований на технологическую область, соответ-

ствующую индексу МПК этой строки, при трех перечисленных выше условиях. Например, в табл. 3 значение ИИП-И для подкласса G06E «Оптические вычислительные устройства», т. е. интегрального индикатора влияния всех направлений научных исследований на этот подкласс, равно 16. Однако в табл. 3 ненулевое значение в строке G06E есть только у одной рубрики 47.00.00 «Электроника. Радиотехника» по классификатору ГРНТИ. При этом значение ИИП-И для подкласса G06F «Обработка цифровых данных с помощью электрических устройств» равно 3143. Это значение распределено по семи рубрикам ГРНТИ (от 13.00.00 «Культура. Культурология» и 20.00.00 «Информатика» до 50.00.00 «Автоматика. Вычислительная техника»).

Особенность разработанной лингво-математической модели состоит в том, что каждый кортеж  $\mu_{m,k}^{i,j} = \langle q_m^i, r_{j,k}^i \rangle$  сопровождается данными ряда полей как описаний изобретений (даты публикаций заявки или патента, страны заявителей и пр.), так и связанных с ними публикаций (год, тип, страна публикации) (рис. 5).

В результате наших исследований сформирован массив кортежей вида <индекс МПК, рубрика ННИ> и связанных с ними полей данных:

- номер патента к описанию изобретения, которое было отобрано для обработки согласно сценарию  $S$ ;
- год выдачи патента к описанию изобретения;
- индекс МПК изобретения (левая часть кортежа  $\langle q_m^i, r_{j,k}^i \rangle$ );
- рубрика ННИ ссылки на цитируемую публикацию (правая часть этого кортежа);
- год выхода в свет цитируемой публикации.

Таблица 3

### Интегральные и тематические индикаторы интенсивности переноса научных знаний

Индекс МПК	Код рубрики ГРНТИ и значения тематических индикаторов интенсивности								Интегральный индикатор* для индекса МПК
	13.00.00	20.00.00	27.00.00	28.00.00	45.00.00	47.00.00	50.00.00	76.00.00	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
G06E	0	0	0	0	0	16	0	0	16
G06F	2	423	59	758	469	517	915	0	3143
G06G	0	0	0	2	15	27	14	0	58
G06K	0	539	4	587	550	602	655	2	2939
G06N	0	19	1	14	30	26	19	1	110
G06Q	0	0	0	8	0	0	1	5	14
G06T	0	8	51	51	8	17	80	0	215

\* В статье [18, см. табл. 1] в аналогичной таблице значения интегрального показателя отнесены к 100 изобретениям

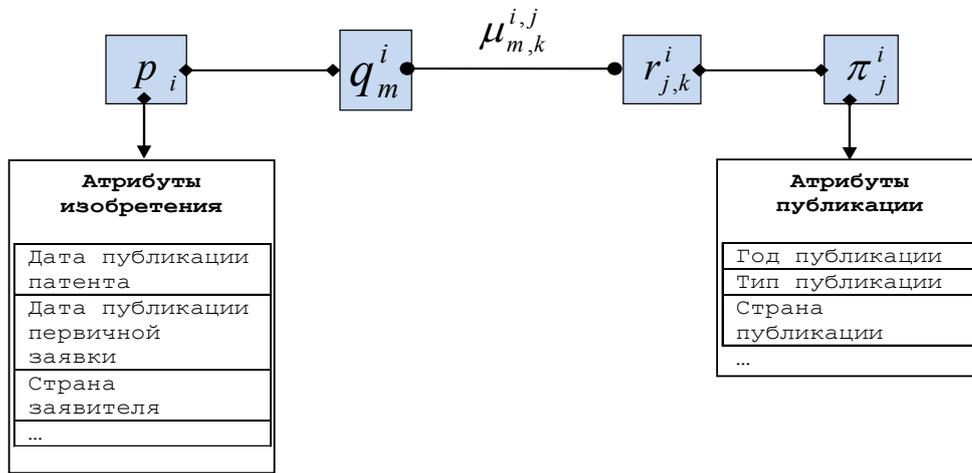


Рис. 5. Поля данных изобретения и публикации, связанных с кортежем вида <индекс МПК, рубрика ННИ>:  $p_i$  – описание изобретения;  $q_m^i$  – индекс МПК описания изобретения  $p_i$ ;  $\pi_j^i$  – ссылка на публикацию, цитируемую в  $p_i$ ;  $r_{j,k}^i$  – рубрика ННИ публикации, цитируемой в  $p_i$ ;  $\mu_{m,k}^{i,j}$  – кортеж, включающий индекс МПК и рубрику ННИ.

Отметим, что с точки зрения практического использования разработанный метод применим для тех изобретений из множества  $P_S$ , для которых  $Z(i)$ , равно 1, т. е. рассматривается только один (основной) индекс МПК. Для  $Z(i)$  больше 1, когда рассматриваются несколько индексов МПК, требуется разработка таких лингвистических методов, которые позволят установить связь между отдельными индексами МПК изобретения и соответствующими им ссылками на научные публикации, выделенными в описании. После их разработки описанный метод будет применим для случаев, когда  $Z(i)$  больше 1.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучение процесса переноса знаний из разных областей научных исследований в сферу технологического развития является важным как с научной точки зрения, так и с прикладной, поскольку позволяет выявлять те направления научных исследований, которые уже оказали и могут оказать в будущем существенное воздействие на формирование научно-технического задела.

Основным документированным и структурированным источником для изучения этого процесса является архив Роспатента. Для вычисления значений индикаторов анализируются описания изобретений, содержащие ссылки на научные публикации, в которых отражены результаты научных исследований по тем или иным научным направлениям, использованные в этих изобретениях.

Предлагаемый метод формирования матрицы частотностей может быть применен для изучения степени будущего влияния направлений поисковых исследований на развитие сферы технологий, если использовать информационные ресурсы Роспатента достаточной временной ретроспективы и методы статистического прогнозирования.

Индикаторы, применяемые для изучения степени влияния направлений поисковых исследований, – это

информационные объекты, отображающие различные аспекты процесса переноса знаний, в первую очередь, интенсивности использования результатов фундаментальной и прикладной науки. Реализуемость метода была проверена на примере вычисления значений индикаторов вида  $I = B(AR, A, F)$ .

Отметим, что косвенным результатом наших исследований может стать вклад в организацию и обеспечение целевых научных исследований, поскольку они способствуют определению точек приложения финансовых, организационных и иных ресурсов в научную сферу с целью создания научно-технического задела для последующего эффективного и прогнозируемого технологического развития.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Schmoch U. Tracing the knowledge transfer from science to technology as reflected in patent indicators // *Scientometrics*. – 1993. – Vol. 26, № 1. – P. 193–211.
- Tijssen R. J.W., Buter R.K., Van Leeuwen Th.N. Technological relevance of science: An assessment of citation linkages between patents and research papers // *Scientometrics*. – 2000. – Vol. 47, № 2. – P. 389–412.
- Van Looy B., Zimmermann E., Veugelers R., Verbeek A., Mello J., Debackere K. Do science-technology interactions pay on when developing technology? An exploratory investigation of 10 science-intensive technology domains // *Scientometrics*. – 2003. – Vol. 57, № 3. – P. 355–367.
- Narin F., Noma E. Is technology becoming science? // *Scientometrics*. – 1985. – Vol. 7, № 3–6. – P. 369–381.
- Narin F., Olivastro D. Linkage between patents and papers: An interim EPO/US comparison // *Scientometrics*. – 1998. – Vol. 41, № 1–2. – P. 51–59.

6. Mansfield E. Academic research and innovation // *Research Policy*. – 1991. – Vol. 20, №1. – P. 1–12.
7. Mansfield E. Academic research underlying industrial innovations: Sources, characteristics and financing // *Review of Economic and Statistics*. – 1995. – Vol. 77, № 1. – P. 55–62.
8. Mansfield E. Academic research and industrial innovation: An update of empirical findings // *Research Policy*. – 1998. – Vol. 26, № 7-8. – P. 773–776.
9. Third European Report on Science & Technology Indicators. – Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2003. – 451 p.
10. Зацман И.М., Шубников С.К. Принципы обработки информационных ресурсов для оценки инновационного потенциала направлений научных исследований // *Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции: Труды IX Всероссийской научной конференции RCDL'2007*. – Переславль: Университет города Переславля, 2007. – С. 35–44.
11. Архипова М.Ю., Зацман И.М., Шульга С.Ю. Индикаторы патентной активности в сфере информационно-коммуникационных технологий и методика их вычисления // *Экономика, статистика и информатика. Вестник УМО*. – 2010. – № 4. – С. 93–104.
12. Минин В.А., Зацман И.М., Кружков М.Г., Норекиян Т.П. Методологические основы создания информационных систем для вычисления индикаторов тематических взаимосвязей науки и технологий // *Информатика и ее применения*. – 2013. – Т. 7, Вып. 1. – С. 70–81.
13. Минин В.А., Зацман И.М., Хавансков В.А., Шубников С.К. Архитектурные решения для систем вычисления индикаторов тематических взаимосвязей науки и технологий // *Системы и средства информатики*. – 2013. – Т. 23, № 2. – С. 260–283.
14. Зацман И.М., Хавансков В.А., Шубников С.К. Метод извлечения библиографической информации из полнотекстовых описаний изобретений // *Информатика и ее применения*. – 2013. – Т. 7, Вып. 4. – С. 52–65.
15. Хавансков В.А., Шубников С.К. Поиск и рубрицирование ссылок на цитируемые публикации в электронных библиотеках полнотекстовых описаний изобретений // *Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции: Труды XVI Всероссийской научной конференции RCDL-2014*. – Дубна: ОИЯИ, 2014. – С. 165–173.
16. Минин В.А., Зацман И.М., Хавансков В.А., Шубников С.К. Индикаторы тематических взаимосвязей науки и технологий: от текста к числам // *Информатика и ее применения*. – 2014. – Т. 8, Вып. 3. – С. 114–125.
17. Минин В.А., Зацман И.М., Хавансков В.А., Шубников С.К. Индикаторы тематических взаимосвязей науки и информационно-компьютерных технологий в начале XXI века // *Информатика и ее применения*. – 2015. – Т. 9, Вып. 2. – С. 111–120.
18. Минин В.А., Зацман И.М., Хавансков В.А., Шубников С.К. Интенсивность цитирования научных публикаций в изобретениях по информационно-компьютерным технологиям, патентуемым в России отечественными и зарубежными заявителями // *Информатика и ее применения*. – 2016. – Т. 10, Вып. 2. – С. 107–122.
19. Зацман И.М., Дурново А.А. Моделирование процессов формирования экспертных знаний для мониторинга программно-целевой деятельности // *Информатика и ее применения*. – 2011. – Т. 5, Вып. 4. – С. 84–98.
20. Zatsman I., Durnovo A. Incompleteness Problem of Indicators System of Research Programme // *The 11th International Conference on Science and Technology Indicators (STI'2010): Book of abstracts*. – Leiden: CWTS, 2010. – P. 309–311.
21. Зацман И.М., Кожунова О.С. Семантический словарь системы информационного мониторинга в сфере науки: задачи и функции // *Системы и средства информатики*. – 2007. – Т. 17, № 1. – С. 124–141.
22. Zatsman I., Kozhunova O. Evaluating for institutional academic activities: classification scheme for R&D indicators // *The 10th International Conference on Science and Technology Indicators (STI'2008): Book of abstracts*. – Vienna: ARC GmbH, 2008. – P. 428–431.
23. Zatsman I., Kozhunova O. Evaluation System for the Russian Academy of Sciences: Objectives-Resources-Results Approach and R&D Indicators // *Proceedings of the 2009 Atlanta Conference on Science and Innovation Policy / eds. S. E. Cozzens, P. Catalan*. – URL: <http://smartech.gatech.edu/bitstream/1853/32300/1/104-674-1-PB.pdf> (дата обращения 04.04.2017).
24. ST.14. Рекомендации по включению ссылок, цитируемых в патентных документах. – URL: [http://www.rupto.ru/docs/interdocs/stand\\_wipo/03\\_14\\_01.pdf](http://www.rupto.ru/docs/interdocs/stand_wipo/03_14_01.pdf) (дата обращения 04.04.2017).

*Материал поступил в редакцию 05.05.17*

#### **Сведения об авторах**

**МИНИН Владимир Александрович** – доктор физико-математических наук, консультант, Институт проблем информатики Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» РАН (ФИЦ ИУ РАН), Москва  
e-mail: aleksiss@ya.ru

**ЗАЦМАН Игорь Моисеевич** – доктор технических наук, зав. отделом ФИЦ ИУ РАН  
e-mail: izatsman@yandex.ru

**ХАВАНСКОВ Валерий Александрович** – научный сотрудник, Институт проблем информатики ФИЦ ИУ РАН  
e-mail: chavanskov@yandex.ru

**ШУБНИКОВ СЕРГЕЙ КОНСТАНТИНОВИЧ** – старший научный сотрудник, Институт проблем информатики ФИЦ ИУ РАН  
e-mail: sergeysh50@yandex.ru

В. Н. Комарица, А. Е. Сощенко

## Практическое использование библиометрических закономерностей в науковедческих исследованиях

*Приведены результаты исследования, полученные на основе применения Закона Лотки, показывающие количественное распределение публикаций между группами авторов, которые имеют аффилированность с одной научной организацией. Проведен анализ связи между публикациями и авторами статей на основе построения по данным многоуровневого цитирования дискретных математических структур – графов, позволяющий определить важность статьи и проследить ее связь и влияние на смежные области научных исследований. Авторами посредством статистической обработки наукометрической информации выполнен анализ и получен практический результат, показывающий высокую сходимость эмпирических и аналитических данных, установлены связи между научными коллективами и направлениями исследований.*

**Ключевые слова:** наукометрия, библиометрия, оценка эффективности научной деятельности, визуализация данных

### ВВЕДЕНИЕ

Практическое применение наукометрических закономерностей [1–5] на примере анализа публикаций целевой группы авторов отраслевого научного журнала – цель настоящей работы. В качестве основного статистического показателя для количественной характеристики свойств публикационной активности авторов используется цитируемость статей. Анализ цитируемости позволяет проследить отдельные публикации, выявить наиболее значимые из них, установить направления исследований, вызывающих наибольший практический интерес и вносящих максимальный вклад в развитие научной информации [6–9].

Исследования информационных потоков в научной периодике основываются на выявлении эмпирических закономерностей, получении математических зависимостей, направленных, в свою очередь, на построение моделей и библиометрических теорий [1]. Закон Лотки (Закон обратных квадратов), сформулированный А.Дж. Лоткой в 1926 г., заключается в том, что, если взять множество ученых и проанализировать, сколько статей написал каждый из них, то число  $S_i$  ученых, написавших ровно  $i$  статей, будет обратно пропорционально квадрату  $i$ :

$$S_i = \frac{A}{i^2} \quad (1)$$

где  $i$  – количество написанных статей,  $A$  – постоянная величина.

Гиперболическое распределение публикаций по количеству ученых (Распределение Лотки) позволяет обнаруживать не только продуктивность, но и качественный уровень авторов публикаций. Мерой полезности научной статьи в области развития научной информации является ее цитируемость: если работа цитируется, то она оказывает влияние на развитие науки как информационного процесса.

Число Эрдёша в математике, Число Бэйкона в киноиндустрии, Число Сюсаку для игроков в кубик Рубика, «Теория шести рукопожатий» в социологии – все подобные численные теории строятся на выявлении степени связанности между объектами (людьми и авторами публикаций), и являются числами удаленности между условными узлами графической сети (граф), по которым можно отождествлять отдельных исследователей или группы научных коллективов. При расчете числа удаленности, определяющего количество ребер, находящихся на одном конечном пути в графе, от заданного узла, применяется следующий алгоритм: у автора, цитируемого впервые, число удаленности принимается равным нулю, у непосредственных соавторов публикации это число равно единице, соавторы или авторы статьи с числом, равным  $n$ , имеют число  $n+1$ .

Информационный массив данных о научных публикациях, авторах, цитируемости статей, собранный редакцией журнала «Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов» по опубликованным научным статьям за период 2011–2016 гг., позволяет практически проанализировать

наукометрические закономерности и выполнить статистический анализ публикационной активности ученых:

1) изучение наукометрических закономерностей и оценка публикационной активности авторов статей в области развития научной информации на основе различных типов анализа статистических данных отраслевого научного журнала;

2) оценка сходимости эмпирических и аналитических данных, построение графических зависимостей, отображающих публикационную активность и выявление связи между научными коллективами и направлениями исследований.

В настоящей работе использовались методы статистического наблюдения; материалы группировались и обобщались на основе наукометрических закономерностей.

### ФОРМИРОВАНИЕ ВЫБОРКИ И КЛАССИФИКАЦИЯ ОБЪЕКТОВ

В качестве исходной информации нами были использованы данные публикационной активности сотрудников Научно-исследовательского института трубопроводного транспорта (ООО «НИИ Транснефть») в журнале «Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов» за период 2011–2016 гг. Тестовая выборка ( $M$ ) состоит из

$A$  объектов (статей), причем объекты этой выборки имеют  $P$  признаков (цитирований), которые являются дискретными величинами с конкретным множеством возможных значений. Для исследования были выбраны 166 авторов, имеющих 437 цитирований (выборка  $M$ ), что составляет всю совокупность авторов – настоящих или бывших сотрудников ООО «НИИ Транснефть». Цитируемость определена для всего множества ( $M$ ) по информационной базе Российского индекса научного цитирования (РИНЦ) за период 2011–2016 гг. и архивным данным редакции научного журнала «Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов». Собранные данные разделены на группы и представлены в табл. 1-3.

По данным (табл. 1) построен график (рис. 1) гиперболической зависимости числа авторов и количества статей, подготовленных в одной организации. На этом же рисунке представлен график, рассчитанный по формуле Лотки (1). Характер представленных кривых показывает совпадение эмпирического и расчетного распределений, укладывающееся в отклонение не более 5 %.

В анализируемой выборке данных ( $M$ ) имеется 85 авторов, написавших по одной статье, и один автор, имеющий 22 публикации. Распределение результатов между крайними значениями укладывается в закономерность Лотки (1).

Таблица 1

Информетрическое распределение – «авторы – количество статей»

Статьи	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	16	22
Авторы	85	28	19	11	5	4	2	2	4	1	1	1	1	1	1	1

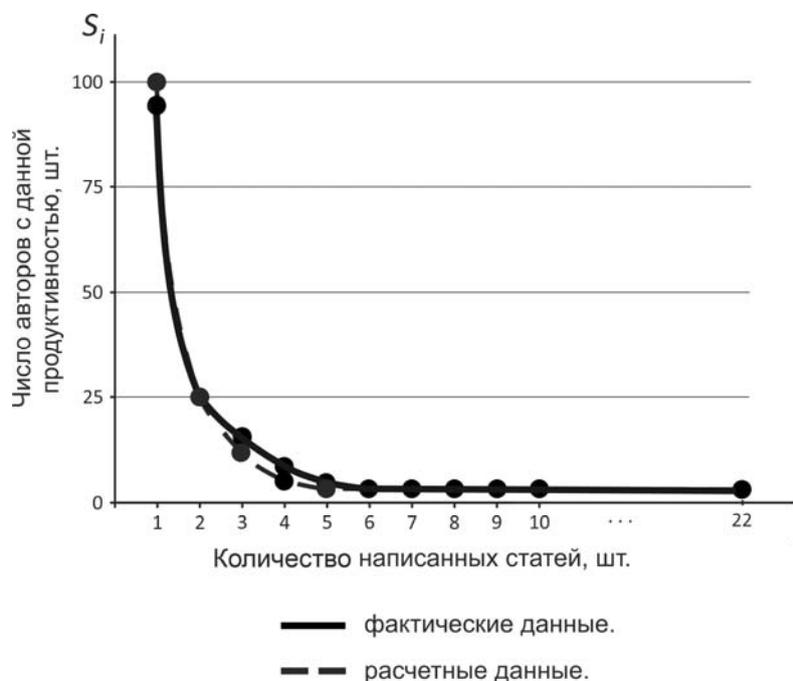


Рис. 1. Зависимость числа авторов, написавших статьи, от количества написанных статей, построенная по расчетным и экспериментальным данным (Закономерность Лотки).

**Распределение по количеству публикаций:** выборка  $M$  разделена на 4 группы, учитывающие количество публикаций по следующему алгоритму: общее количество опубликованных статей удваивается в каждой из групп (табл. 2). С позиций информационной модели науки суммарное количество публикаций характеризует продуктивность ученого, при этом не является показательным критерием информационной значимости научного труда специалиста. Мера информационной значимости научной статьи – ее цитируемость. Если на статью ссылаются в своих работах другие исследователи, то она оказывает информационное влияние на развитие науки. Статистика цитирования позволяет выявлять закономерности развития науки и вероятные темпы ее развития [4]. Использование данных о цитировании позволяет провести не только индивидуальную, но и суммарную оценку работы группы авторов публикаций, связанных с определенным научным направлением.

**Распределение по количеству цитирований:** выборка  $M$  была распределена по количеству цитирований на 5 групп авторов (табл. 3). Граничные интервалы групп соответствуют числовой последовательности  $a_n = a_{n-1} + 5$ , где  $n$  – порядковый номер группы. Статьи 5 группы авторов не имеют цитирований и в последующих итерациях алгоритма не рассматриваются. Графически распределение цитирований между группами авторов статей показано на (рис. 2).

**Тематический анализ:** для рассматриваемых четырех групп авторов выборки  $M$  установлено распределение

основных тематик цитируемых публикаций, которое представлено в табл. 4.

**Сетевой анализ:** закономерности в собранных и обработанных статистических данных выборки  $M$  более доступны для восприятия при графической визуализации. Объекты (авторы)  $A_i$  выборки  $M$  примем за вершины, а признаки (цитирования)  $P_j$  – за ребра связанного неориентированного графа. Примем автора статьи, имеющего максимальное цитирование, за начальную точку пути. Для любой пары вершин графа будет существовать вершина, смежная с ними обеими и, следовательно, будет существовать вершина, смежная со всеми вершинами графа. Все последующие точки графа определяются по алгоритму, используемому при расчете числа Эрдёша, каждая последующая вершина графа устанавливается при наличии ее цитирования в статье предыдущего автора. На (рис. 3, 4) и в (табл. 5) представлены данные и визуальный образ, характеризующие граф  $M_{ij}$ , построенный по результатам выборки  $M$  и показывающий связанность вершин с вершиной (1). Установлено: 1) для исследуемой группы авторов выборки  $M$  максимальное значение ребер, создающих путь до вершины графа (1), составляет – 7; 2) вершины (1), (17), (23) и (30) имеют наибольшее значение смежных ребер, показывающее, что соответствующие статьи имеют наибольший рост показателей цитируемости; 3) распределение ребер в матрице смежности имеет направленную эллиптическую форму.

Таблица 2

Распределение авторов по группам и количеству публикаций

Группы публикаций	I	II	III	IV
Всего авторов в группе, шт.	132	20	9	5
Количество опубликованных статей, шт.	1–3	4–5	6–10	11–22
Общее число цитирований статей группы, шт.	147	78	132	80
Относительная доля цитирования статей группы, %	33,9	17,8	30,1	18,2
Импакт-фактор группы (рассчитан по данным выборки $M$ )	1,07	3,90	14,66	16

Таблица 3

Распределение цитирований между группами авторов

Группы цитирований	Кол-во ссылок	Кол-во авторов	Идентификатор автора статьи (количество цитирований)
1	31 – 50	1	A1 (46)
2	16 – 30	2	A2 (23); A3 (23)
3	6 – 15	26	A4 (15); A5 (15); A6 (15); A7 (15); A8 (14); A9 (14); A10 (13); A11 (11); A12 (11); A13 (10); A14 (11); A15 (10); A16 (10); A17 (9); A18 (9); A19 (9); A20 (9); A21 (8); A22 (7); A23 (7); A24 (7); A25 (6); A26 (6); A27 (6); A28 (6); A29 (6)
4	1 – 5	44	A30 (5); A31 (5); A32 (5); A33 (5); A34 (5); A35 (3); A36 (3); A37 (3); A38 (3); A39 (3); A40 (3); A41 (3); A42 (3); A43 (2); A44 (2); A45 (2); A46 (2); A47 (2); A48 (2); A49 (1); A50 (1); A51 (1); A52 (1); A53 (1); A54 (1); A55 (1); A56 (1); A57 (1); A58 (1); A59 (1); A60 (1); A61 (1); A62 (1); A63 (1); A64 (1); A65 (1); A66 (1); A67 (1); A68 (1); A69 (1); A70 (1); A71 (1); A72 (1); A73 (1)
5	0	93	Статьи не рассматриваются ввиду отсутствия цитирования

## Распределение тематик цитируемых статей

Группа цитирований	Распределение тематик цитируемых публикаций
1	Обеспечение надежности магистральных нефтепродуктопроводов Практика государственного регулирования деятельности в сфере трубопроводного транспорта Создание и реализация инновационных технологий Мониторинг магистральных нефтепроводов в сложных геологических условиях Технология противотурбулентных присадок
2	Математическое описание гидравлических параметров жидкой среды
3	Нагрузки и конструктивные параметры резервуаров Материаловедческие условия надежности резервуаров Вывод нефтепровода из эксплуатации и подготовка к транспортировке дизельного топлива Бестраншейная прокладка трубопроводов Применение наземного лазерного сканирования Оптимизация режимов работы станций катодной защиты Методы обнаружения утечек нефти из трубопровода Требования к сварочным материалам Сварка трубопроводов при низких температурах Расчеты по определению несущей способности трубопроводов Расчет напряженно-деформированного состояния нефтепроводов, прокладываемых на вечномерзлых грунтах Аналитическое представление характеристик центробежных насосов Разработка алгоритма оценки КПД магистральных насосных агрегатов Теплоизоляция линейной части ТС Заполярье - Пурпе Регуляторы давления Конструкции боновых заграждений Биоремедиация нефтезагрязненных почв для климатических условий крайнего севера
4	Интегрированные системы менеджмента качества Национальная стандартизация в сфере магистрального трубопроводного транспорта Моделирование взаимодействия трубопровода со смещающимся грунтом в тектоническом разломе Моделирование строительства подводных переходов Проектирование, разработка и сопровождение информационной системы геотехнического мониторинга магистрального трубопровода Оценка последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей в подземных емкостях нефти, нефтепродуктов Современные технические решения систем дозирования пенообразователя в автоматических установках пожаротушения Разработка диспетчерского тренажера для системы магистральных нефтепроводов Использование протяженных анодных заземлителей для электрохимической защиты нефтепроводов от коррозии

Таблица 5

Распределение вершин и ребер в графе  $M_{i,j}$ 

Количество ребер до вершины 1	0	1	2	3	4	5	6	7
Количество инцидентных вершин	1	33	74	108	56	10	4	2

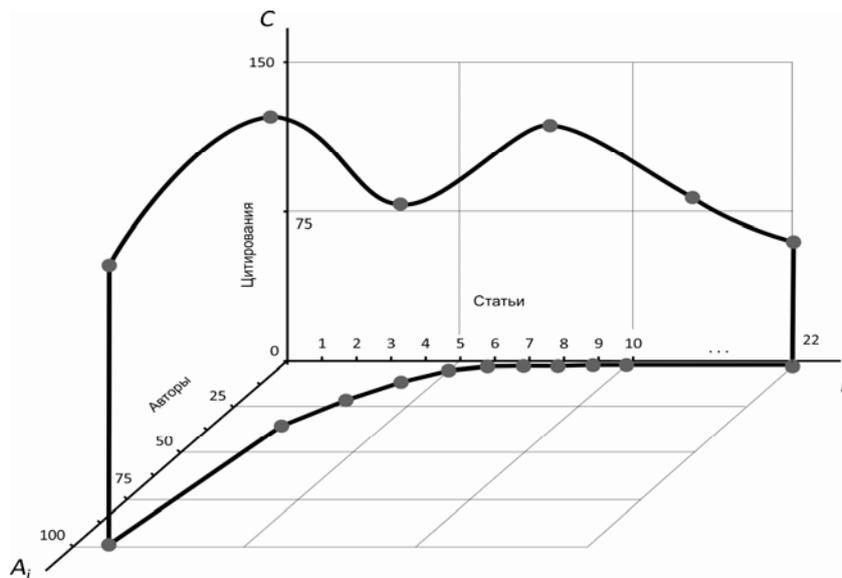


Рис. 2. Графическая интерпретация распределения цитирований в авторских группах, построенная по данным выборки  $M$ .

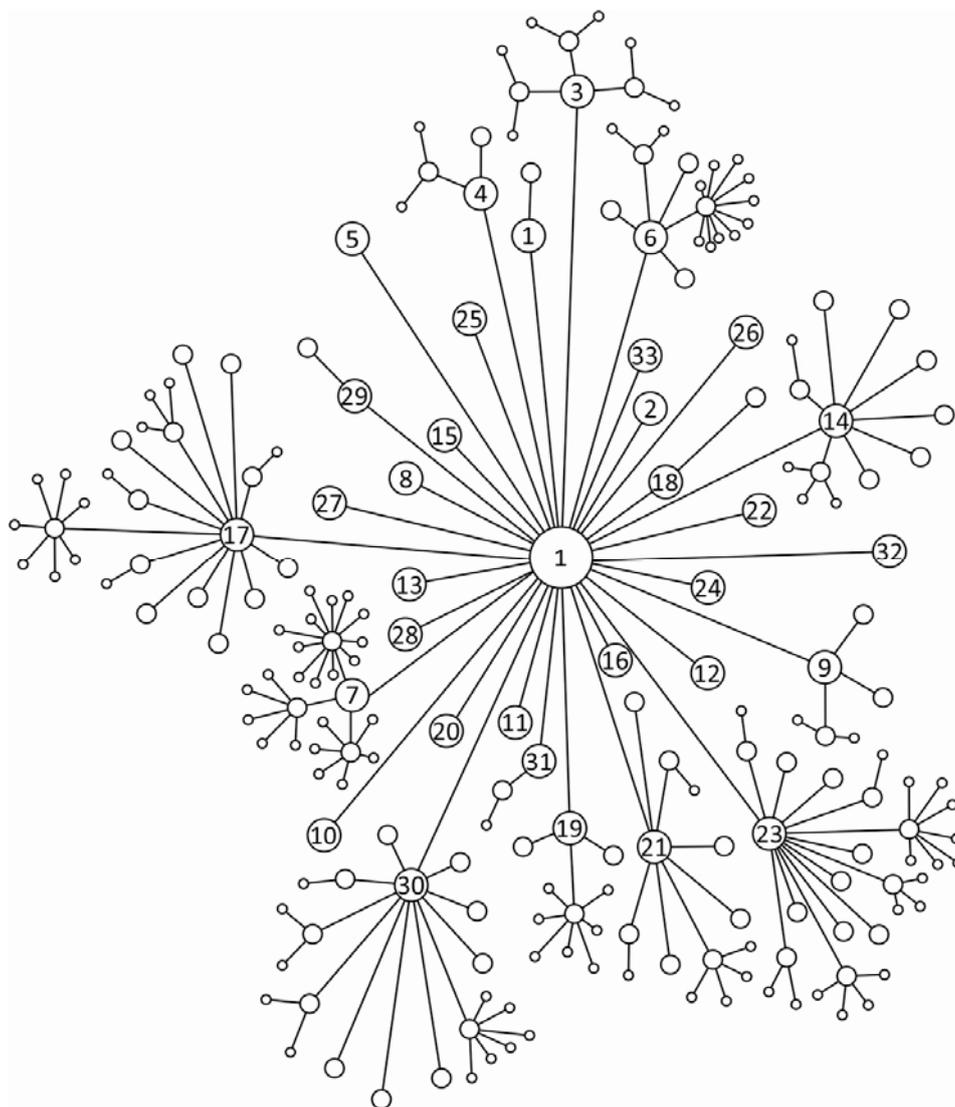


Рис. 3. Компоненты связанного графа трехуровневого цитирования ( $G$ ), построенного для исследуемого массива данных выборки  $M$ . Цифрами 1–32 обозначены вершины графа, как номера статей, имеющих прямое цитирование статьи автора соответствующего вершине 1.

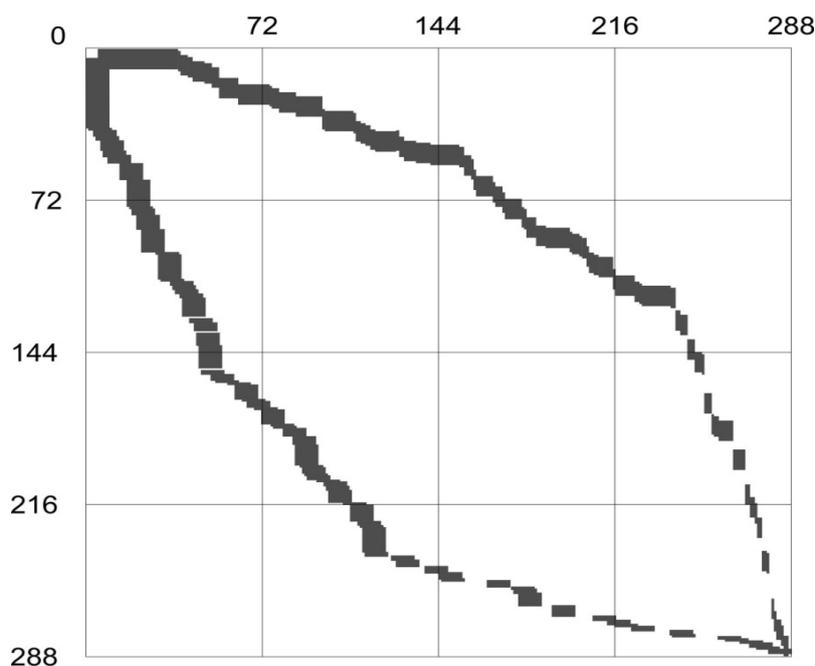


Рис. 4. Графическое представление матрицы смежности связанного графа *G*.

## ВЫВОДЫ

Установлено, что статьи выборки *M* имеют 437 цитирований. Распределение авторов на группы по количеству публикаций (см. табл. 2) позволяет сделать вывод, что авторы группы I, на которую приходится 33,9 % цитирований, составляют группу специалистов, которые мало печатаются и мало цитируются, противоположна ей группа IV (18,2 % от числа цитирований). В группу III входят специалисты, которые сравнительно мало печатаются, но каждая работа которых получает большее количество цитирований.

Установлена сходимость эмпирических и аналитических данных, рассчитанных для данных выборки *M*.

Распределение статей по критерию цитирования (табл. 3) способствует выявлению исследований, по которым имеется наибольшее цитирование (табл. 4). Полученные результаты могут быть использованы для планирования научной деятельности.

Использование методов визуализации данных делает связи между научными коллективами более доступными для восприятия, а также обеспечивает верифицируемость данных при принятии решений в управленческой деятельности.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Галявиева М.С. Обучение информетрии информационно-библиотечных специалистов: постановка проблемы // *Современные проблемы науки и образования*. – 2013. – №3. – 263 с.
2. Бредихин С.В., Кузнецов А.Ю., Щербакова Н.Г. Анализ цитирования в библиометрии. – Новосибирск: ИВМиМГ СО РАН, НЭИКОИ, 2013. – 344 С.
3. Писляков В.В. Библиометрические индикаторы: практикум // Нац. фонд подгот. кадров. – М.: ИНФРА-М, 2014. – 60 с.
4. Головина М.Ю. Библиометрия как способ оценки исследовательской активности // XXXVII Научно-практическая конф. профессорско-преподавательского состава вуза. – Челябинск: Челябинский гос. институт культуры, 2016. – С. 100-103.
5. Москалева О.В. Использование наукометрических показателей для оценки научной деятельности // *Науковедческие исследования*. – 2013. Санкт-Петербургский государственный университет.
6. Мохначева Ю.В., Харьбина Т.Н. Оценка результативности научной деятельности с использованием основных количественных библиометрических показателей на примере Пушкинского научного центра РАН // *Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции: Труды XII Всероссийской научной конф. RCDL'2010*; Казань, Россия 13-17 октября 2010 г. – Казань: Казанский университет, 2010. – С. 177-180.
7. Грановский Ю.В. Наукометрия и управление научными коллективами. *Науковедческие исследования: сборник научных трудов / Российская акад. наук, Ин-т науч. информации по общественным наукам, Центр информатизации, соц., технол. исслед. и науковед. анализа (Серия «Методические проблемы развития науки и техники»)*. – М., 2013 – 274 с.
8. Сощенко А. Е., Комарица В. Н. Анализ зависимости между числом публикаций и количе-

ством цитирования статей в научной периодике трубопроводного транспорта углеводородов // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2015. – № 3(19). – С. 108–115.

9. Индекс научного цитирования Web of Science // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2011. – № 3. – С. 102–104.

*Материал поступил в редакцию 03.05.17.*

#### **Сведения об авторах**

**КОМАРИЦА Валентин Николаевич** – кандидат технических наук, шеф-редактор редакции журнала, ООО «Научно-исследовательский институт трубопроводного транспорта» (ООО «НИИ Транснефть»), Москва  
e-mail: KomaritsaVN@niitnn.transneft.ru

**СОЩЕНКО Анатолий Евгеньевич** – доктор технических наук, профессор, начальник управления инновационного развития и НИОКР, ПАО «Транснефть», Москва  
e-mail: Soschenkoae@gmail.com

А. М. Петрина

## Состояние и перспективы развития робототехники в медицине

*Приведены некоторые разработки, рассмотрены специфические особенности роботов, проанализированы методы построения робототехнических систем для медицины и представлены последние теоретические исследования, экспериментальные и практические результаты.*

**Ключевые слова:** медицинские роботы, микророботы, нанороботы, состояние, перспективы развития

### ВВЕДЕНИЕ

Первое десятилетие XXI в. ознаменовалось бурным развитием медицинской робототехники, играющей важную роль в современной медицине. Значительные достижения в области теории управления, программного обеспечения, сенсоров, систем машинного зрения, обработки информации и искусственного интеллекта обеспечили возможность создания медицинских роботов с новыми функциями, оснащенных необходимым интерфейсом.

В настоящее время сфера применения медицинских роботов это – нейрохирургия, микрохирургия, протезирование, ортопедия, радиология, репродуктивные технологии, реабилитационные процедуры и др. Роботы используются в больницах и применяются также для немедицинских целей, например, для информирования медицинского персонала и пациентов, а также для складирования, дезинфекции, поиска инструментов, лекарств и пр. Применение медицинских роботов позволяет улучшить медицинские показатели, снизить риск для пациентов при проведении операций и в послеоперационном восстановлении, сократить время пребывания в стационаре.

Однако нерешенные задачи в области искусственного интеллекта не позволяют роботам отвечать основным требованиям медицины: быть автономными. Научные центры развитых стран, таких как США, Япония, Китай, Россия, Германия, Франция, Швейцария и др., ведут крупномасштабные исследования в сфере медицинской робототехники.

Анализ мирового рынка медицинских роботов показал значительный всплеск интереса к этому направлению и в сфере производства. В связи с этим, во многих развитых странах, помимо исследовательских центров, появились фирмы, специализирующиеся на выпуске различных типов медицинских роботов, либо модулей для их сборки. В настоящее время широкий спектр медицинских роботов доведен до уровня готовых изделий, многие из которых имеются в свободной продаже. Сегодня ежегодный объем продаж медицинских робототехнических систем в

мире в стоимостном выражении составляет свыше 4 млрд долл США.

Основными сдерживающими факторами развития медицинской робототехники и увеличения числа используемых медицинских роботов являются их высокая стоимость, установка в клиниках и, соответственно, большой период окупаемости инвестиций. Эти факторы сдерживают спрос на роботы, прежде всего в развивающихся странах. Медицинские роботы представляют широкий класс робототехнических систем, в которые, в зависимости от функций и применения в качестве отдельных крупных групп, входят: хирургические роботы, сервисные мобильные роботы, робототехнические системы медицинской реабилитации, симуляционные медицинские робототехнические системы (полученные компьютерным моделированием) и др.

В зависимости от задач в класс робототехнических систем по хирургии в качестве отдельных групп входят:

- системы для проведения малоинвазивных хирургических вмешательств и неинвазивные диагностические робототехнические системы;
- системы ассистирования медицинским манипуляциям;
- микро- и нанороботы;
- системы с использованием интерфейса «мозг – компьютер»;
- симуляционные робототехнические системы (полученные компьютерным моделированием).

Создание медицинской робототехнической системы – сложный процесс, в котором нужно решать поставленные медицинские задачи, используя точные и современные методы и новейшие материалы, с учетом технических требований, предъявляемых к ее интерфейсу, конструкции и воздействиям на организм человека.

### РОБОТЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ХИРУРГИИ: РАЗРАБОТКИ И ВНЕДРЕНИЕ

Область хирургической робототехники начала развиваться с середины 1980-х годов, после того как роботы Unimate PUMA 200 в США были использо-

ваны для удерживания инструментов при проведении биопсии. В 1992 г. компанией Integrated Surgical System был создан ортопедический робот в качестве помощника хирургу Robodoc Surgical Assistant System [1], функцией которого было шлифование костных поверхностей для улучшения контакта с инплантантом. В 1996 г. была использована робототехническая система для отбора связанных с геном проб, в состав которой входили робот с электродвигателем линейного перемещения, система технического зрения и система управления. Робототехническая система находилась в Международном центре по исследованию генома [2]. С этих пор нарастающий интерес к клинической робототехнике увеличивается.

Современным этапом развития малоинвазивной хирургии явилось внедрение в клиническую практику следующих специализированных серийных роботов: AESOP, EndoAssist, Naviot, Zeus, Da Vinci [1, 3-4]. Разработка робота AESOP, предназначенного для автоматизированной, управляемой голосом системы видеоподдержки лапароскопической операции, проводилась при совместных усилиях NASA и американской фирмы Computer Motion AESOP. Затем в результате работ, поддержанных NASA и компанией DARPA, были разработаны уже непосредственно хирургические робототехнические комплексы для лапароскопии. В 1998 г. появилась система ZEUS, а в 1999 г. – первая модификация Da Vinci. Роботы отличаются высокой безопасностью, выполнением комплексных операций, проведением операций в режиме реального времени (например, на работающем сердце), отсутствием аппарата искусственного кровообращения, хорошими косметическими результатами, быстрой реабилитацией, хорошими долгосрочными результатами.

С помощью робота ZEUS в США была впервые проведена операция по аортокоронарному шунтированию. При использовании минимального инвазивного доступа, пациент был прооперирован роботом под управлением хирурга-оператора без открытия грудины с использованием доступа через проколы, что значительно снизило травму и время реабилитации.

Система Da Vinci основана на архитектуре «ведущий – ведомый», которая позволяет реализовать управление ведомым роботом и точно управлять движением на конечном звене робота, используя интуитивный и дружелюбный интерфейс пользователя. Робот Da Vinci повторяет движения человеческой руки в теле пациента, имеет три манипулятора, к которым крепятся инструменты, и один манипулятор, на котором закреплена камера. Хирург сидит за панелью управления, наблюдает операционное поле при помощи стереоскопического видеоканала и посредством джойстиков управляет инструментами, находящимися в руках робота. С помощью этих инструментов, вводимых в тело пациента через проколы в коже, операция проводится с большой точностью. Роботизированная система состоит из трех основных частей, которые образуют функциональное единство: панель управления, операционная панель и оптическая система. Панель управления – место работы врача-оператора, откуда он управляет движением инструментов внутри тела пациента. Управление

инструментами осуществляется с помощью двух джойстиков, которые полностью копируют движения запястий хирурга и переносят их на манипуляторы, а затем на инструменты в операционной части устройства. Второй элемент управления – это ножные педали, с помощью которых регулируются коагуляция инструментов, фокусировка камеры и переключение между рабочими манипуляторами.

С помощью панели управления можно регулировать градуирование движений рук по отношению к движению инструментов, калибровку камер и пр. Инструменты и камера легко прикрепляются к рукам и легко перемещаются с консоли или ассистентом.

Оптическое устройство – часть системы, предназначенная для обработки изображения со стереоскопической камеры, находящейся на операционной панели. В комплексе Da Vinci используется оптическая система обзора InSite.

Достоинствами системы Da Vinci является проведение тонких, сложных операций в ограниченном пространстве. При использовании робототехнической системы возникает минимальное количество осложнений.

Основными недостатками системы Da Vinci являются продолжительность настройки оборудования, его высокая стоимость (приблизительно 3 млн евро), длительность подготовки и обучения медицинского персонала. Использование комплекса оправдано в крупных многопрофильных высокотехнологичных хирургических центрах.

Основные области применения Da Vinci – кардиология, общая хирургия, урология, гинекология, клинические испытания робототехники. В США функционирует порядка 2000 медицинских робототехнических комплексов Da Vinci, в Европе – 300, в России – 9 и на них уже проведено свыше 3500 операций [5].

Следует отметить, что разработки в области хирургических робототехнических комплексов продолжают и не ограничиваются совершенствованием системы Da Vinci. Робототехническая система ZEUS благодаря дистанционному управлению используется в трансконтинентальной телероботохирургии. Например, с помощью робота ZEUS, который установили в госпитале Франции, хирурги удалили желчный пузырь, находясь в Нью-Йорке [6]. По типу Da Vinci итальянской компанией SOFAR разработан робот Telelap ALF-X. Его особенностью является наличие обратной тактильной связи между механической рукой, которая непосредственно касается пациента, и хирургом, который, в свою очередь, ощущает тактильное очувствление. Еще одно преимущество этого робота – отслеживание движения глаз хирурга с помощью специальных очков и наличие эндоскопической камеры, которая показывает ход операции и увеличивает масштаб изображения благодаря движениям типа маятника.

В области протезирования коленного и тазобедренного суставов применяют системы Acrobot (Великобритания) и Robodoc (США). Они выполняют ряд запрограммированных манипуляций, в определенной последовательности осуществляя движение в различных направлениях и плоскостях, тщательно подготавливают кость для установки протеза в опти-

мальной позиции, сокращая при этом время операции и уменьшая ее травматичность [6]. Япония ведет разработки в области создания роботов для применения в микрохирургии.

Германия производит медицинскую робототехнику универсального назначения. В работе [7] сообщается о крупном заказе фирме Kuka, который был получен от фирмы Siemens Healthcare. Заказ предусматривал поставки в 2013–2015 гг. небольшими партиями около 360 роботов медицинского назначения, которые предполагалось использовать в диагностике, терапии, ангиографических системах и т.п. Сотрудничество этих фирм в медицинской технике началось в 2005 г.

Базовые принципы создания роботизированных комплексов, их конструктивные особенности, способы и алгоритмы управления широко представлены в литературе. Анализ действующих роботизированных комплексов показывает, что их функции расширяются. При применении робототехники каждая из областей хирургии совершенствуется в текущей хирургической практике, при использовании комплексов имеется возможность проводить одновременно малоинвазивные вмешательства, например, под контролем ультразвука, эндоскопии и рентгенотелевидения. Устройство Wi-Fi позволяет по беспроводной связи передавать и архивировать изображение и озвучивание операций в компьютерную сеть клиники или передавать информацию по компьютерным сетям.

Концепция разработки и создания биомеханического роботизированного комплекса, предназначенного для выполнения эндохирургических операций в условиях клиники, приведена в работе [8]. Комплекс основан на биомеханическом копирующем управлении движением рук хирурга-оператора. Перемещение задающего органа управления копируется исполнительным модулем с установленным на нем инструментом.

В работе [9] рассматриваются возможности нейрохирургического манипулятора «Ореол», представляющего совместную разработку нескольких петербургских научно-клинических и производственных учреждений, для проведения стереотаксических вмешательств на головном мозге в условиях современной операционной. С 2009 по 2016 гг. с применением манипулятора в клинике нейрохирургии Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова и нейрохирургическом отделении Института мозга человека им. Н.П. Бехтерева Российской академии наук выполнено 208 операций на головном мозге. Перед проведением операций выполнялась стереотаксическая разметка с использованием компьютерной томографии, магнито-резонансной томографии и позитронно-эмиссионной томографии головного мозга пациента. Ряд прогрессивных технических решений, использованных при работе с манипулятором во время подготовки и проведения стереотаксических операций, позволил органично интегрировать манипулятор в комплекс современного нейровизуализационного и нейронавигационного оборудования и достичь высоких результатов при лечении пациентов с различной патологией центральной нервной системы.

В МГТУ им. Р.Э. Баумана разработаны многофункциональные манипуляторы-ассистенты МРК423 и МРАМ.100000.000 для манипулирования хирургиче-

ским инструментом массой до 0,5 кг в условиях операционной. Манипулятор МРАМ.100000.000 с семью степенями подвижности предназначен для применения в различных областях медицины, включая лапароскопию, радиочастотную абляцию опухолей, лазерную обработку раневых поверхностей, для хирургического лечения сердечно-сосудистых заболеваний [10].

Манипуляторы описанных классических конструкций, построенные на базе жестких звеньев, в настоящее время достигли практически вершины своего развития: улучшение их потребительских свойств происходит только за счет использования новых приводов, конструкционных материалов, применения современных вычислительных и алгоритмических средств при построении систем управления. Поэтому усилия многих ведущих исследовательских центров направлены, в основном, на проектирование манипуляторов и роботов нетрадиционных конструкций.

Ярким примером таких перспективных конструкций являются манипуляторы с управляемым изгибом, модели которых описаны в работах [11-13]. Предполагается использовать их для обработки и удаления костной ткани и для расширения области применения роботов-ассистентов. При несомненной перспективности таких работ, поставленная проблема характеризуется высокой сложностью решаемых задач практически на всех этапах проектирования.

Для работы манипулятора необходимо знание таких основных характеристик, как рабочая зона, скорость движения рабочего инструмента и усилие, с которым инструмент взаимодействует с биологической тканью. Конструкция манипулятора с управляемым изгибом, в первую очередь, отличается от известных решений тем, что все элементы звена образуют пары качения без использования шарнирных соединений. Такой вариант конструкции позволяет снизить риск разрушения манипулятора при внешних воздействиях, избежать заклинивания в узких каналах, обеспечить минимальный размер при его транспортировании.

При использовании даже трех-четырёх звеньев с изгибом манипулятор способен обеспечить неразрывную рабочую зону с высокими значениями коэффициентов сервиса и манипулятивности в заданном направлении, что гарантирует эффективность его работы в сложноорганизованных пространствах с узкими каналами. Эксперименты с кинематическими моделями n-звенных манипуляторов позволили выявить их способность надежно удерживать длинные объекты за счет обхватавания. Так как это свойство похоже на использование слонем своего хобота, то подобную конструкцию относят к классу бионических манипуляторов.

Способность манипуляторов подобного типа сохранять работоспособность даже при заклинивании отдельных элементов звена, является значимой при построении промышленных эндоскопов с большей глубиной проникновения или полостного инструмента для обработки хирургом труднодоступных внутренних поверхностей. Основными причинами малого числа внедрений манипуляторов с гибким изгибом являются: отсутствие быстрого расчета динамиче-

ских моделей, которые можно использовать при синтезе систем управления и генерации управляющих сигналов, нелинейный и многосвязный характер объекта управления. Поэтому дальнейшая работа в этом направлении планируется в таких областях, как синтез многоканальной синхронизируемой системы сбора информации, адаптивной системы управления, расчет траекторий, оптимальных по точности и энергозатратам.

## **ХИРУРГИЧЕСКИЕ РОБОТЫ: МЕТОДОЛОГИЯ РАЗРАБОТКИ И ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ**

Сегодня хирургический робот – это электронно-механическое устройство, которое частично или полностью выполняет функции человека или его отдельных органов при решении различных медицинских задач. Известно, что разработка любого технического устройства начинается с технического задания, содержащего конкретные технические требования к устройству в целом, к его отдельным частям и блокам, включая требования к алгоритмам и программному обеспечению. Для изделий медицинской техники таким техническим заданием являются медикотехнические требования, которые должны регламентироваться нормативными документами. Помимо общих требований к порядку разработки любых изделий медицинской техники, требований по составу изделия и т.п., большое значение имеют специализированные требования, присущие только данному конкретному типу изделий или классу изделий с конкретным функциональным назначением и применением.

Хирургические роботы обладают определенными особенностями, ориентированными на взаимодействие с биологическими объектами – с живыми биологическими мягкими тканями человека, с их изменяющимися вязко-упругими свойствами, неинвазивным характером механического воздействия и с определенными видами инструментов. Хирургические роботы представляют собой сложную биотехническую систему, неоднородную по структуре, состоящую из биологических и технических звеньев. Все эти особенности учитываются при совместных разработках разработчиками робототехники и медицинскими соисполнителями разработок, выполняемых с учетом возможностей современной робототехники и потребностей здравоохранения.

С применением роботов улучшаются эргономические показатели работы хирурга, повышаются точность и контролируемость воздействия, визуализация, сноровка и управляемость, увеличивается манипулятивность хирургического инструмента и доступный хирургу объем пространства внутри тела пациента. Важной особенностью роботизированной хирургии является возможность конвертирования традиционных операций в малоинвазивное пространство и использование экспертной базы типовых операций.

В работах [14-17] сформирован основной методологический подход к созданию медицинских хирургических роботов, который заключается в разработке следующих требований: к функциональному назначению и функциональным возможностям хирургических роботов; к конструктивному исполнению и аппаратному оснащению; к программному обеспечению; к ин-

струментам; к материалам; к среде обитания и условиям эксплуатации, а также по надежности и по безопасности.

Опишем некоторые из них.

*Требования к технике безопасности.* В хирургической робототехнике требования к технике безопасности, инструментам и материалам являются наиболее строгими. Существуют стандарты для медицинских приборов, для промышленной робототехники, для систем обеспечения безопасности, где отражаются принципиальные особенности средств безопасности [1] и которые должны включать идентификацию предвидимых заранее рисков и обеспечивать оценку безопасности управления для смягчения этих рисков. Средствами, предотвращающими опасность, являются дублирующие сенсоры, аварийное торможение, контрольное реле времени для управления программным обеспечением, кинематика, ограничение помех и т.д.

В хирургических роботах средства безопасности в основном относятся не к хирургу-оператору, профессионально взаимодействующему с роботом, а к пациенту, который должен быть уверен в своей безопасности. Наиболее опасной является инвазивная хирургическая робототехника, где исполнительный элемент робота выполняет пункции и резекции по программным траекториям. Здесь ошибка может возникнуть на уровне составления программы или ошибка оператора при дистанционном проведении операции. В этом случае безопасность в большей степени зависит не от робота, а от мастерства, обученности оператора, на которого возлагается ответственность.

Система управления робота содержит три контура с обратными связями: по положению, усилию, биомедицинским переменным. Поэтому источниками опасных сбоев системы управления этого робота будут, в первую очередь, разрывы замыканий указанных контуров, отказы датчиков обратных связей. Другим источником опасных ситуаций может быть неправильная оценка задания параметров процедуры. Возможными средствами предотвращения опасности могут быть вывод на монитор текущих значений механических и биомедицинских переменных и выделение области отклонений, предупреждающей звуковыми и световыми сигналами о подходе к зоне опасности.

*Требования к инструментам.* Исполнительные функции хирургических робототехнических систем определяются инструментами, сменными или закрепляемыми на конечном звене манипулятора. Основными принципами инструментального оснащения должны быть:

- ♦ максимальная простота в применении;
- ♦ комплектация в виде стерильных одноразовых наборов;
- ♦ современные материалы;
- ♦ безопасность медицинских методик;
- ♦ низкая стоимость.

Инструменты для медицинских роботов должны быть легкоъемными или автоматически заменяемыми (с возможностью их стерилизации). Особенностью хирургического робота является механический

контакт робота с человеком. Этот контакт осуществляется через инструмент, поэтому при воспроизведении движения антропоморфной рукой аналогичного руке человека, инструмент должен имитировать контактные свойства этой руки: координационные возможности (многопальцевость, способность захватывать), фрикционные свойства (шероховатость, гладкость, скользкость), упругость, теплоту, влажность и т.п. [18].

В роботах, применяемых в инвазивной хирургии, в качестве инструмента для проникновения в полость тела широко используются концентрические трубки разных размеров. В работе [19] описывается набор трубок в зависимости от характеристик: длины, жесткости, линий изгиба и т.п. При проектировании хирургических роботов рекомендуется учитывать набор трубок, позволяющих роботу работать по плавной траектории внутри рабочего пространства с соответствующими анатомическими ограничениями. Для передвижения роботизированных инструментов в магнитном поле разработана система управления, которая состоит из пары диаметрально расположенных однодипольных цилиндрических магнитов, работающих в качестве магнитных приводов [20]. Европейская фирма Danneritser Medizintechnik, занимающаяся изготовлением медицинских инструментов и запасных частей к ним, используя обрабатывающий центр VF-2SSYT фирмы Naas, разработала гибкий роботизированный модуль MRC Flextray для производства инструментов [21].

Китайскими исследователями спроектирован малогабаритный инвазивный хирургический инструмент с четырьмя степенями свободы, который отличается высокой гибкостью [22]. Усилия инструмента, прямая и обратная кинематика рассчитаны с использованием программного обеспечения Matlab и Adams. О производстве отечественных инструментов, предназначенных для выполнения минимально инвазивных хирургических операций в различных областях хирургии, сообщается в работе [23]. Собственное производство позволит создать медицинские инструменты с низкой себестоимостью по сравнению с иностранными аналогами.

*Требования к материалам.* Проектирование характеристик роботов, микророботов и микроприводов зависит от использования различных материалов, их комбинаций и уникальных свойств новых наноструктурных материалов [24]. Необходимая биосовместимость материалов в медицинских роботах достигается в основном за счет применения определенных металлических и неметаллических материалов. Свойства материалов, такие как электрическая проводимость, температурная проводимость, модуль Юнга, коэффициент теплопроводности, удельная теплота, сопротивление, коэффициент тепловой конвекции и др. быстро меняются с температурой (20% – 130%), влияя на перемещение, температуру и приводы. Таким образом, при проектировании должны учитываться различные свойства материалов, включая модули упругости, электрическое сопротивление, прочность, плотность, проводимость, тепловое расширение и т.д.

Наиболее подходящими материалами для микророботов являются химические и биологически инертные материалы, среди которых известны пластики: латекс, нейлон, полиэтилен, поливинилхлорид, фторопласт и др. Использование резины и металлов исключается.

В микроприводах применяют материалы, которые изменяют свою геометрию (размеры и форму), реагируют на применение возбуждения (магнитное поле, электрическое поле, ток, изменение температуры и т.д.). Наиболее известным является пьезоэлектрический материал из семейства циркониевого титаната (PZT). Пьезоэлектрические материалы позволяют иметь очень высокое разрешение, большие усилия и малое время отклика, поэтому они широко используются в пьезоэлектрических схватах, микроприводах и сканирующих атомных силовых микроскопах [25].

В работах [26, 27] приведены рекомендации по выбору материалов для электротермического и электростатического приводов. Например, такие материалы как алмазы, алюминий, кремний, карбид кремния, нитрид кремния рекомендуются для выбора высокоскоростного, силового движения; полимеры – для большого перемещения (или сдвига) и для низкого входного напряжения; алюминий – для низкого удельного сопротивления, для слабых сил и для высокоскоростного движения. Для многих упомянутых материалов допускается инвертирование преобразования силы (например, магнитострикция – магнитоупругий эффект).

Большинство электротермических микроприводов для микророботов выполняется из металла или кремния, поскольку металл и кремний имеют относительно низкий коэффициент теплового расширения, но высокую тепловую проводимость. Однако они не эффективны при электромеханическом преобразовании из-за малой величины смещения. Как известно, полимеры обладают высоким коэффициентом теплового расширения, но являются электрическими и термическими изоляторами, поэтому для улучшения характеристик микроприводов используют смешанные структуры из металла, кремния и полимеров. Например, в работе [28] приведен металло- и ионно-полимерный привод на основе композитной мембраны, обладающей подходящими электромеханическими свойствами и адекватной ионообменной емкостью. Привод на основе мембраны образуется при помощи гальванического платинового покрытия на обеих сторонах мембраны. Такой привод применяется для управления многопальцевыми микросхватами. Полимеры используются для изготовления самовосстанавливающегося привода. В работе [29] представлен прототип упругого тросового привода, в котором используются полимеры. Результаты показали, что такие приводы могут функционировать при относительно низкой температуре, восстанавливая первоначальные механические свойства. Для роботов, функционирующих совместно с человеком в качестве защитной функции человека, разрабатывают специальную тактильную кожу [30]. Прокладки кожи образованы из поролона и эластомера. В работе [31] представлена разработка манипулятора, контактирующего с мягкой биологической тканью. В качестве контакти-

рующего элемента представлен видео-тактильный сенсор, разработанный группой российских и тайваньских ученых. Головка сенсора представляет собой сферическую мембрану, изготовленную из прозрачного силикона. На оси датчика закреплена видеокамера, позволяющая определить положение и размер площадки контакта головки с исследуемой мягкой тканью.

Известны полимерные материалы, обладающие реакцией на внешнее воздействие [32]. Полимеры разделяются на два типа. Первый тип – материалы, изменяющие форму в соответствии с закодированной информацией, и второй тип – материалы с запоминанием пространственной формы. В последнее время разрабатываются материалы как с односторонней, так и двусторонней обратимостью формы, что дает комбинацию программируемости и обратимости, которая значительно расширяет диапазон возможных применений.

Будущие исследования микророботов и микроприводов связывают с созданием новых стандартов измерения и методов совместимости материалов.

## **МИКРОРОБОТЫ ДЛЯ ОБСЛЕДОВАНИЯ И ЛЕЧЕНИЯ ВНУТРЕННИХ ОРГАНОВ**

Современным этапом развития хирургии явилось внедрение в клиническую практику микророботов, предназначенных для обследования и лечения внутренних органов. Созданы микророботы со сверхминиатюрными электродвигателями, которые способны перемещаться в кровеносных сосудах и органах человека. Разработаны микророботы, которые могут доставлять лекарственные препараты к органам человека, нуждающимся в улучшении физиологической деятельности. Замена в микророботах режущих инструментов лазерными системами сделала возможным выполнение сложнейших хирургических операций. Наибольшее количество из перечисленных составляют микророботы с перистальтическим принципом движения.

Перистальтика (с греческого переводится – обхватывающий и сжимающий) означает волнообразное сокращение стенок полых трубчатых органов (пищевода, желудка, кишечника, мочеточников и др.), способствующее продвижению их содержимого к выходным отверстиям.

Основные требования к микророботам с перистальтическим принципом движения включают в себя [10, 14, 16, 17]:

- малый размер;
- плавность внешних очертаний для снижения вероятности царапин на слизистых оболочках;
- низкие токи и напряжения для электрического управления и/или двигателя (во избежание ожога внутренних органов или удара током);
- возможность простого извлечения в случае поломки и/или сбоя управления (иначе робот может остаться в теле пациента и его извлечение операционным путем становится либо затрудненным, либо невозможным – в силу малых размеров);
- применение химических и биологически инертных материалов;

- недопустимость использования газа в качестве рабочего тела при применении робота в кровеносных сосудах: пузырьки газа в них могут вызвать тромб (в других органах применять газ допустимо);

- одноразовое использование или простая стерилизация устройств (предпочтение отдается одноразовым устройствам, однако они требуют экологической утилизации и, как правило, более высоких затрат на изготовление).

Для микророботов с перистальтическим принципом движения можно выделить следующие функции применения:

- обследование – на корпусе робота крепятся разнообразные датчики (миниатюрные видеокамеры, щупы и т.п.);

- взятие проб – робот снабжается шприцем для жидкостей и/или схватом для твердых тканей;

- адресная доставка лекарства – к роботу крепится герметичный сосуд с жидким лекарством. При достижении роботом заданной точки по команде оператора иглолка прокалывает сосуд и лекарство попадает в полость органа; тот же эффект может быть достигнут с помощью шприца с управляемым поршнем;

- удаление тромбов и «бляшек» в кровеносных сосудах;

- искусственное расширение «схлопнувшихся» или «забитых» трубчатых органов и т.д.

Указанные функции могут совмещаться в одном роботе.

Приведем данные о последних научных исследованиях и опыте практического применения хирургических микророботов.

*Микророботы для диагностики и реабилитации.* В настоящее время в МГТУ им. Н.Э. Баумана проводятся работы по созданию медицинской робототехники различного назначения, в том числе мобильных микророботов, способных в автоматическом и полуавтоматическом режимах перемещаться по трубчатым органам, осуществляя диагностику и воздействие на патологические участки. К таким разработкам относится прототип робота «Салазан-1». При повышенном давлении рабочего тела внутри секции стенки секции распрямляются, при пониженном – сжимаются. При этом гибкие элементы упираются в стенки сосудов, обеспечивая фиксацию. Использование относительно тонких гибких элементов вызывает перекрытие лишь небольшой части просвета трубчатого органа. Это позволяет использовать робот в тех органах, в которых происходит движение биологического материала любой консистенции (кровеносные сосуды, кишечник и т.д.) [15].

Для реализации быстрого и неконтактного управления движением лепесткообразной эндоскопической капсулой, перемещающейся в криволинейном пространстве, разработаны микроробот и метод управления с помощью универсального вращающегося магнитного поля. Разработан также метод управления движением капсулы, которое было затруднено из-за сложного внутреннего пространства объекта исследования. Мобильная робототехническая система способна в автоматическом режиме перемещаться по трубчатым органам, производя диагностику [33].

При реабилитации робот-ассистент должен гарантировать безопасность пациенту в непредвиденных ситуациях, т.е. при внезапном спазме или конвульсиях, внезапных толчках и т.д. Для улучшения безопасности и надежности системы реабилитации разработана стратегия иерархического супервизорного управления, включающая высокоуровневый безопасный супервизорный контроллер и низкоуровневый контроллер [34].

Разработанный в Дармштадском техническом университете (Германия) интерфейс Force-Feedback предназначен для установления непосредственной связи хирурга с эндоскопическим миниатюрным роботом, выполняющим внутренние операции с минимальными разрезами на теле человека. Интерфейс позволяет хирургу по собственным ощущениям управлять работой робота [35].

*Микророботы, перемещающиеся в магнитном поле.* В работе [36] представлено новое поколение микророботов PolyMite с беспроводным магниторезонансным приводом. По сравнению с предыдущим поколением таких устройств, в качестве материала для пружин в микророботе используется полимер SU-8. Это позволяет изготавливать стабильные пружины без значительного увеличения жесткости. Микроробот PolyMite способен развивать в воздухе скорость более 20 мм/с (40 длин тела в секунду). Демонстрируется способность робота передвигаться и перемещать такие микрообъекты, как легкие пенопластовые и более тяжелые стеклянные шарики в жидкой среде. Микроробот отличается большим выходным усилием, имеет удаленный микропривод и биосовместимую поверхность.

Для минимально инвазивных процедур спроектирован микроробот радиусом 250 мкм, который перемещается в кровяном потоке сосудов. Микроробот состоит из полимерных наноразмерных ферромагнитных частиц и оснащен грузом сферической формы, который перемещается с помощью магнитного поля. Система управления траекторией построена на основе теории Ляпунова. Для стабилизации движения используются адаптивный регулятор и наблюдатель [37].

Для применения в гастроскопии исследователями из Китая разработан и реализован микроробот, перемещающийся в толстой кишке. Беспроводная силовая система передачи микроробота использует магнитное поле со стабильной магнитной частотой. Разработаны требования к усилиям, числу витков для передачи и размеру мобильного микроробота, движущегося в теле человека [38].

*Микророботы для перемещения внутри сосудов при наличии изгибов.* Сообщается о выступлении ученых из университета Ньюкастл (Австралия) на втором заседании рабочей группы по темам: применение микророботов в медицине, в частности, доставка лекарственных препаратов по сети кровеносных сосудов и нанопозиционирование [39].

Перемещение микророботов внутри сосудов является сложной задачей, особенно при наличии изгибов. Поэтому существует потребность в разработке устойчивого передвижения по сосудам любой сложности. Для исследования перистальтики предлагает-

ся микроробот с трубкой с изгибом. Рассматриваются отношения между возможностью приводящего в движение робота, изгибом трубки и полосой захвата робота. Получены характеристики усилий робота при изгибе, которые описываются с применением математической модели, построенной с помощью моделирования и эксперимента. Модель служит теоретическим базисом для исследований по планированию движения робота при повороте [40].

В работе [41] исследуется принцип движения робота с концентрическими трубками. Движение изучается при сохранении заданной искривленной формы робота, которое осложняется ввиду гибкости соединений. Теоретически и экспериментально рассматриваются различные случаи таких движений с предварительной укладкой робота в виде окружности или спирали.

Анализируются производительность и оптимизация параметров микроробота, использующего внутренний спиральный профиль для продвижения внутри трубопровода с турбулентной жидкостью [42]. Для определения влияния параметров внешней среды и параметров функционирования на производительность робота, используются методы гидродинамики.

*Микророботы для доставки компонентов.* С целью адресной доставки лекарств пациенту рассматривается технология прокалывания иглой мягких тканей с помощью робота-ассистента. Путем моделирования выполняется планирование траекторий, синхронное слежение за траекторией, навигация робота и управление системой прокалывания иглой. Технические трудности заключаются в быстром планировании траектории прокалывания и в точном управлении иглой. Для снижения трудностей предлагаются метод пунктирного управления и метод восприятия усилий кончиком иглы [43].

Спроектирован микроробот, оснащенный иглой и системой компьютерного зрения, предназначенный для венопункции. Разработана архитектура робота и представлены его характеристики. Проведенные в искусственных условиях эксперименты показали, что робот успешно может использоваться для забора крови из вены [44].

Разработаны роботизированные системы с исполнительными устройствами доставки компонентов и методы доставки, включающие мобильные устройства и роботизированные устройства с неподвижным основанием\*.

В работе [45] рассматривается стратегия доставки лекарств координированными командами микророботов-плавцов. В частности, исследуется управляемость группой микророботов при доставке лекарственных доз в заданную область живого организма. Рассматривается метод одновременного управления многими геометрически подобными, но различными по магнитным свойствам микророботами, использующими одно глобальное вращающееся магнитное поле. Различие в магнитных свойствах позволяет

\* Robotic devices with agent delivery components and related methods: Пат. 8179073 США, МПК В25J 5/00 (2006/01). Farritor Shane M., Oleynikov Dmitry, Platt Stephen R. et al. The Board of Regents of the Univ. of Nebraska. №13/107272; Заявл. 13.05.2011; Оpubл. 15.05.2012; НПК 318.568.11.

инициировать различное поведение микророботов, переносящих лекарства, осуществлять управление частотой и силой глобального поля.

Медицинские роботы сейчас успешно используются для сортировки, манипулирования и быстрой доставки лекарств в условиях клиник, фармацевтике и заводских лабораторий. Примером служат известные сервисные роботы, описанные в работе [46], которые применяются в университетской клинике Gen-tofte в Копенгагене. Роботы в течение одного дня сортируют около 3000 проб крови пациентов со скоростью 7-8 проб в минуту. Роботы фирмы Swisslog и фирмы Kuka [47] применяются на автоматизированном складе в качестве курьеров для быстрой доставки лекарств. В работе [48] представлена роботизированная технология упаковочного производства на фармацевтическом предприятии концерна Bayer (Германия), где производится аспирин.

## НАНОРОБОТОТЕХНИКА И МЕДИЦИНСКИЕ РОБОТЫ

Несмотря на первые успехи в области наносборки молекулярных машин, говорить о создании нанороботов еще рано, поскольку они пребывают пока на стадиях компьютерного моделирования [1, 6, 49].

В отличие от традиционных технологий, нанотехнологии характеризуются повышенной наукоемкостью, затратностью, а также междисциплинарностью и неэффективностью решения задач методом «проб и ошибок», который, как правило, и используется в сложных прикладных разработках. В связи с этим традиционный стиль мышления и общепринятая методология при проектировании нанороботов оказываются чрезвычайно сложными. Это сопряжено с проведением большого объема фундаментальных и прикладных научных и технологических исследований. Принципиальная трудность создания нанороботов заключается в проектировании, которое основывается на методах компьютерного моделирования. Расчет конструкции системы настолько трудоемок и сложен, что для его осуществления требуется мощность современных суперкомпьютеров.

В настоящее время с помощью компьютерных программ моделируются наноэлементы, содержащие десятки тысяч атомов. Сейчас имеются различные 3D-редакторы, которые позволяют проектировать трехмерные молекулярные структуры и даже делать некоторые расчеты этих структур. Например, компаниями Nanotitan и Nanogex разработаны программы Nanoexplorer [50] и NanoEngineer [51], позволяющие быстро и легко проектировать молекулярные системы размером до 100 тыс. атомов на основе квантово-механических расчетов. Таким образом, уже реализуются первые шаги, направленные на разработку, создание и внедрение наносистем, обладающих сенсорными, процессорными и приводными функциями.

Следует отметить направление, занимающееся разработкой механических элементов, узлов и модулей будущих наномехатронных систем с применением многослойных углеродных нанотрубок и электрических контактов из наноэлектромеханических систем. Среди этих устройств можно отметить нанопоршни, валы, подшипники и зубчатые переда-

чи, которые являются важными составными частями нанороботов.

Нанороботы являются для врачей универсальным инструментом в борьбе с раком, диабетом, инфекциями. В перспективе нанороботы могут передвигаться по кровеносной системе человека и очищать его от микробов и раковых клеток. Поскольку пока роботы не могут определить свой путь для перемещения в живом теле, совершенствуются методы для их ориентации и направления к месту назначения. Такими методами являются: покрытие наночастицами белков и направление их с помощью магнитов в область лечения, создание микророботов в виде гребешков и интеграция микродвигателей, работающих на основе газовых пузырьков, возникающих при реакциях внутри желудка.

Именно интеграция микродвигателей позволила недавно создать первого наноробота, который доставил лекарство в живой организм. Ученые из Швейцарского федерального технологического института в Цюрихе и израильского Технологического института разработали наноробот нового вида, который перемещается в среде вязкой жидкости биологического происхождения [52-54]. Наноробот состоит из полимерного тела, внутрь которого вставлены два коротких нанопроводника из магнитного металла. Это формирует цепочку из трех частей, длина которой не превышает толщины шелкового волокна. Несмотря на малые размеры, нанороботы способны перемещаться в жидкости, даже более вязкой, чем кровь человека. Управление движением нанороботов осуществляется с помощью переменного магнитного поля, которое заставляет роботы двигаться, подобно хвосту головастика. Во время первых экспериментов нанороботы двигались, перемещаясь за одну секунду на длину корпуса наноробота. Теперь, изменяя параметры переменного магнитного поля, исследователи могут управлять направлением и скоростью движения нанороботов, направляя их в строго заданное место.

Ученые из Кембриджского университета создали двигатель, который, по их словам, можно будет использовать в нанороботах [55]. Прототип двигателя называется Ant «приводящий в действие нанопреобразователь» (Ant – в переводе с английского означает «муравей», сокращенно от actuating nano-transducer). Механизм производит на единицу веса движущую силу, которая в сто раз выше, чем у любого известного мотора или мускула. Двигатель Ant приводится в действие скорее физическими, нежели химическими реакциями. В нем содержатся золотые наночастицы, каждая диаметром около 0,06 микрон, что составляет примерно одну тысячную ширины человеческого волоса. Эти частицы помещены в воду с гелеобразным полимером рNIPAM. Когда температура достигает величины выше 32° по Цельсию, золотые частицы тесно слипаются с полимером посредством межмолекулярного притяжения.

Разработки нанороботов продолжают, о чем свидетельствуют проекты развитых стран. Например, в Германии создана межотраслевая «Сеть компетенций panett» под руководством Технического университета г. Хемниц и Фраунгоферовского института

электронных наносистем (ENAS) [56]. Сеть объединила знания и ресурсы по девяти направлениям НИОКР, которые используются для реализации проектов «Процессы и технологии наномасштабных материальных систем», «Микро – наноинтеграция», «Наноматериалы» Проект «Микро – наноинтеграция для создания энергоэффективных сенсорных узлов» включает датчики, которые соединяются с электроникой и за счет интерфейсов получают дополнительные интеллектуальные функции. В состав сенсорных узлов входят материалы, структуры, преобразователи и накопители энергии (последние в виде тонкопленочных суперконденсаторов с высокой плотностью мощности) [57].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По оценкам мировых публикаций в научных и научно-популярных журналах, выставок робототехники и рекламных роликов, медицинские роботы переживают период интенсивного развития. Значительные научные достижения в области теории управления, программного обеспечения, сенсоров, систем компьютерного зрения, обработки информации и искусственного интеллекта обеспечили возможность создания новых моделей медицинских роботов с новыми функциями и оснащенных необходимым интерфейсом.

Современные образцы медицинских роботов, создающихся на базе самых последних достижений науки и техники, применяются во многих направлениях. Если на начальной стадии развития медицинской робототехники роботы использовались для оказания базовых медицинских услуг, таких как помощь в проведении хирургических операций и эндоскопии, то в настоящее время сфера применения хирургических роботов охватывает нейрохирургию, микрохирургию, радиологию, ортопедию, репродуктивные технологии, реабилитационные процедуры и т.п.

Созданы хирургические роботы, которые могут удалять тромбы из сосудов, камни из желчного пузыря, поджелудочной железы, почек и печени, восстанавливать внутренние повреждения в тканях без полостных операций. Разработаны микророботы, которые могут доставлять лекарственные препараты к органам человека, нуждающимся в улучшении физиологической деятельности. Созданы микророботы со сверхминиатюрными электродвигателями, которые способны перемещаться в кровеносных сосудах и органах человека. Замена в микророботах режущих инструментов лазерными системами сделала возможным выполнение сложнейших операций.

Крупнейшие мировые компании – производители медицинских изделий проводят широкие научные исследования и разработки, в которых определяются основные направления развития медицинской робототехники на длительный период. В этих исследованиях основной акцент делается на разработку микророботов для хирургии, сенсоров, систем управления, программного обеспечения, систем компьютерного зрения, наноматериалов, нанороботов, интерфейса. В XXI веке ожидается дальнейшее совершенствование роботов для хирургии, что полностью изменит облик современной медицины.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. O' Toole M.D., Bouazza-Marouf K., Kerr D., Gooroochurn M., Vloeberghs M. A methodology for design and appraisal of surgical robotic systems // *Robotica*. – 2010. – Vol. 28. – P. 297-310.
2. Robotic systems include refined linear motors // *OEM Des.* – 1996, Sept. – P. 12 (реф. 12-37.187).
3. Aiono S., Gilbert J.M., Soin B. et al. Controlled trial of the introduction of a robotic camera assistant (EndoAssist) for laparoscopic cholecystectomy // *Surg. Endosc.* – 2002. – Vol. 16, № 9. – P. 1267-1270.
4. Yoshino I., Yasunadga T., Hashizume M., Maehara Y. A novel endoscope manipulator, Naviot, enables solo-surgery to be performed during video-assisted thoracic surgery // *Interact. Cardiovasc. Thoracic. Surg.* – 2005. – Vol. 4, № 5. – P. 404-405.
5. Юдин А.Б., Чепур С.В., Шестаков С.В. Использование робототехники в интересах медицинской службы Вооруженных сил // *Воен.-мед. ж.* – 2013. – Т. 334, № 6. – С. 49-53.
6. Хирургические роботы. Роботизированная хирургия. – URL: [http://www.livemd.ru/tags/hirurgicheskie\\_roboty](http://www.livemd.ru/tags/hirurgicheskie_roboty).
7. Крупный заказ фирме Kuka. Auftrag uber 360 Medizinroboter von Siemens Healthcare // *Maschinenmarkt*. – 2013, № 21. – P.15.
8. Вислобоков А.А., Никольский А.А. Концепция разработки и создания биомеханического роботизированного комплекса (БМПК), предназначенного для выполнения эндохирургических операций в условиях клиники // *Вопросы кибернетики : Сб. статей.* – М.: Изд-во «Спутник+». – 2014. – С. 228-237.
9. Полонский Ю.З., Холявин А.И., Мартынов Б.В., Низковолос В.Б., Аничков А.Д., Чемодакова К.А., Свистов Д.В. Стереотаксический манипулятор «Ореол»: современное состояние // *Вестн. Рос. воен.-мед. акад.* – 2016. – № 4. – С. 7-13.
10. Саврасов Г.В., Батанов А.Ф., Башлай А.П., Гусаров С.Г. Наш опыт разработки хирургических роботов-манипуляторов // *Сб. трудов 16-й Научно-технической конференции «Медико-технические технологии на страже здоровья» (МЕДТЕХ – 2014), Греция, о. Кефалония, 21-28 сент., 2014.* – М., 2014. – С.150-157.
11. Murphy R.J., Kutzer M.D., Segreti S.M., Lucas B.C. Design and kinematic characterization of a surgical manipulator with a focus on treating osteolysis // *Robotica*. – 2014. – Vol. 32, № 6. – P. 835-850.
12. Bionic Handling Assistant – flexible and compliant movement / *FESTO Corporate*. – URL: [http://www.festo.com/cms/en\\_corp/9655\\_10219.htm](http://www.festo.com/cms/en_corp/9655_10219.htm).
13. Даринцев О.В. Манипуляторы с управляемым изгибом: способы применения // *Материалы 8-й Всероссийской мультikonференции по проблемам управления (МКПУ – 2015): с. Дивноморское, Геленджик, 28 сент. – 3 окт., 2015. Т 2. – Ростов н /Д., 2015. – С.237-239.*

14. Taylor J.S., Stoianovici D. Medical robotics in computer-integrated surgery // *IEEE Trans. Robotics Automat.* – 2003. – Vol.19, № 5. – P. 765-781.
15. Гаврюшин С.С., Саврасов Г.В., Даниленко К.Б. Обзор медицинских роботов с перистальтическим принципом движения // *Сб. трудов 16-й Научно-технической конференции «Медикотехнические технологии на страже здоровья» (МЕДТЕХ – 2014)*, Греция, о. Кефалония, 21-28 сент., 2014. – М., 2014. – С.141-145.
16. Роботизированная хирургия. – URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/>.
17. Ni Ziqiang, Wang Tianmiao, Lui Da. Survey on Medical Robotics // *Jixie gongcheng xuebao = J.Mech. Eng.* – 2015. – Vol.51, № 13. – P. 45-52.
18. Dario P., Hannaford B., Menciassi A. Smart surgical tools and augmenting devices // *IEEE Trans. Robotics Automat.* – 2003. – Vol.19, № 5. – P.782-792.
19. Bergeles C., Gosline A.H., Vasilyev N.V. et al. Concentric tube robot design and optimization based on task and anatomical constraints // *IEEE Trans. Rob.* – 2015. – Vol. 31, № 1. – P. 67-84.
20. Di Natali C., Buzzi J., Garbin N et al. Closed-loop control of local magnetic actuation for robotic surgical instruments // *Там же.* – P.143-156.
21. Schwarzbach L. Flexible Roboterzelle Optimiert CNC-Frasprozess // *Maschinenmarkt.* – 2016. – № 23. – P. 24-25.
22. Qiu Xue-qin, Pan Bo, Fu Yi-li. Design of minimally invasive surgery robotic instrument // *Harbin shangye daxue xuebao. Ziran kexue ban = J. Harbin Univ. Commer. Natur. Sci. Ed.* – 2014. – Vol. 30, № 1. – P. 69-74.
23. Технология Invomilling для производства робота-хирурга // *ИТО: Инструм.-технол.-оборуд.* – 2015. – № 11. – С.30-31.
24. Петрина А.М. Физические подходы к проектированию микроприводов для микро- и нанопозиционирования: информационный аспект // *Научно-техническая информация. Сер.2.* – 2011. – № 12. – С. 8-22.
25. Nguyen N.-T., Ho S.-S., Low C. L.-N. A polymeric microgripper with integrated thermal actuators // *J. Micromech. Microeng.* – 2004. – Vol. 14, № 7. – P. 674-699.
26. Prasanna S., Spearing S.M. Material Selection and Design of Microelectrothermal Bimaterial Actuators // *J. Microelectrometh. Syst.* – 2007. – Vol. 16, № 2. – P. 248-259.
27. Sricar V.T., Spearing S.M. Material Selection for Microfabricated Electrostatic Actuators // *Sens. Actuators.* – 2003. – Vol. 102, № 3. – P. 279-285.
28. Khan Ajahar, Inamaddin Jain, Ravi. Easy, operable ionic polymer metal composite actuator based on a platinumium-coated sulfonated poly(vinyl alcohol)- polyaniline composite membrane // *J. Appl. Polym. Sci.* – 2016. – Vol.133, № 33.
29. Nerryn S., Mathijissen G., Brancart J., Verstraten T., Van Assche G., Vanderborght B. Toward Self-Healing Actuators: A Preliminary Concept // *IEEE Trans. Rob.* – 2016. – Vol. 32, № 3. – P. 736-743.
30. Chen Ying, Yu Migo, Bruck Hugh A, Smela Elisabeth. The skin for co-robot // *Smart Mater. and Struct.* – 2016. – Vol. 25, № 5. – P. 5006.
31. Васюкова О.Э., Досаев М.З., Luo R.-C. Управление исполнительным элементом манипулятора при контакте с мягкой тканью // *Материалы 13-й Международной конференции «Устойчивость и колебания нелинейных систем управления (конференция Пятницкого)»*, Москва, 1-3 июня, 2016. – М., 2016. – С. 90-92.
32. Zhou Jing, Sheiko Sergei S. Reversible shape-Shifting in polymeric Materials // *J. Polim. Sci.* – 2016. – Vol. 54, № 14. – P.1365-1380.
33. Zhang Yongshhun, Bai Jianwei, Chi Minglu et al. Optimal control of a universal rotating magnetic vector for petal-shaped capsule robot in curve environment // *Chin. J. Mech. Eng.* – 2014. – Vol. 27, № 5. – P. 880-889.
34. Pan Lizheng, Son Aiguo, Xu Guozheng et al. Hierarchical safety supervisory control strategy for robot-assisted rehabilitation exercise // *Robotica.* – 2013. – Vol. 31, № 5. – P. 757-766.
35. Mit Fingerspitzengefühl // *Mechatronik.* – 2014. – № 9. – P. 46-47.
36. Tung His-Wen, Maffioli Massimo, Frutiger Dominic R. et al. Polymer-based wireless resonant magnetic microrobots // *IEEE Trans. Rob.* – 2014. – Vol. 30, № 1. – P. 26-32.
37. Arcese Laurent, Fruchard Matthieu, Ferreira Antoin. Adaptive controller and observer for a magnetic microrobot // *IEEE Trans. Rob.* – 2013. – Vol. 29, № 4. – P. 1060- 1067.
38. Shi Yu, Yan Guozheng, Jia Zhiwei, Zhu Bingquan System of transmission design and manufacturing for robot moving inside of intestine // *Nami jishu yu jingmi gongcheng = Nanotechnol. And Precis. Eng.* – 2013. – Vol. 11, № 3. – P. 217-221.
39. Workshop on Dynamics and Control of Micro- and Nanoscale Systems, Newcastle, Febr. 23-24, 2012: Report // *IEEE Contr. Syst. Mag.* – 2012. – Vol.32, № 6. – P. 126-127.
40. Nian Sicheng, Zhang Yanheng, Sun Hanxu, Chen Wei. Study on driving capability of flexible peristaltic pipeline robot in elbow // *Huazhong keji daxue xuebao. Ziran kexue ban = J. Huazhong Univ. Sci. and Technol. Natur. Sci.* – 2014. – Vol.42, № 8. – P. 54-57.
41. Gibert H. B., Neimat J. Webster R. J. (III). Concentric tube robots as sreerable needles: Achieving follow-the-leader deployment // *IEEE Trans. Rob.* – 2015. – Vol. 31, № 2. – P. 246-258.
42. Liang L., Peng H., Chen B., Tang Y., Chen S., Xu Y. Performance analysis and parameter optimization of an inner spiral in-pipe robot // *Robotica.* – 2016. – Vol. 34, № 2. – P. 361-382.
43. Zhao Honghua, Li Guoping, Cao Shukun et al. Key technologies of robot-assisted needle puncture // *Jinan daxue xuebao. Ziran kexue ban = J. Jinan Univ. Sci. and Technol.* – 2015. – Vol. 29. – № 6. – P. 465-470.

44. Balter M. L., Chen A. I., Maguire T. J. et al. The system design and evaluation of a 7-DOF image-guided venipuncture robot // IEEE Trans. Rob. – 2015. – Vol. 31, № 4. – P. 1044- 1053.
45. Cheang U. Kei, Lee Kyoungwoo, Julius Anak Agung, Kim Min Jun. Multiple-robot drug delivery strategy through coordinated teams of microswimmers // Appl. Phys. Lett. – 2014. – Vol. 105, № 8. – P. 083705.
46. Schmid Helmut. Leichtbauroboter Halten Einzug in die Labore // Maschinenmarkt. – 2016. – № 23. – P. 21-23.
47. Hauser Daniel. Mit Automationskonzepten zu mehr Flexibilitat // Там же. – P. 28-29.
48. Kasmann Monika. Die Kleeblatt-Tablett // Verpack.-Rdsch. – Vol. 67, № 7. – P.24-25.
49. Петрина А.М. Наноробототехника: моделирование и эксперименты // Научно-техническая информация. Сер.2. – 2012. – № 7. – С. 7-17.
50. См. – URL: <http://popnano.ru.studies/index.php?task=view&id=63>.
51. См. – URL: <http://www.nanoengineer-1.com/content/index.php?option=com.content&task=view&id=34&Itemid=35>.
52. Плисова Е.С. Технический прорыв в медицине: нанороботы // Роль науки в развитии общества: Сборник статей Международной научно-практической конференции, Казань, 20 дек. 2015. Ч.2. – Уфа, 2015. – С. 90-92.
53. Швейцарские и израильские ученые создали нанороботов нового поколения. – URL: [http://www.i-mash.ru/news/zarub\\_sobytiya/68326-shvejcarskie-i-izraillskie-ucheny-sozdali.html](http://www.i-mash.ru/news/zarub_sobytiya/68326-shvejcarskie-i-izraillskie-ucheny-sozdali.html).
54. Nanotechnology Now. Svidinenko Yuriy. – URL: [http://www.i-mash.ru/news/zarub\\_sobytiya/68326-shvejcarskie-i-izraillskie-ucheny-sozdali.html](http://www.i-mash.ru/news/zarub_sobytiya/68326-shvejcarskie-i-izraillskie-ucheny-sozdali.html).
55. Ученые из Кембриджа работают над двигателем для нанороботов // Станочный парк. – 2016. – № 5. – С.12
56. Nanotechnologie fur die Sensoren von morgen // TU-Spektrum. – 2013. – № 1. – P. 15.
57. Kurth Steffen. Mit wenig Energie viel erreichen // Там же. – P. 22-25.

*Материал поступил в редакцию 06.02.17.*

#### **Сведения об авторе**

**ПЕТРИНА Алла Макаровна** – кандидат технических наук, старший научный сотрудник Отдела научных исследований по технологии машиностроения ВИНТИ РАН, Москва  
e-mail: alex1.Petrin@yandex.ru

# АВТОМАТИЗАЦИЯ ОБРАБОТКИ ТЕКСТА

УДК 81'322 : 811.161.1'367.633

И.А. Большаков

## Русские предлоги и расширенные модели управления

*Детальное описание предложных словосочетаний важно для парсинга при глубокой обработке естественного языка. В русском языке нужно единообразно описать максимальное число словосочетаний с предлогами и без них, учитывая флективность существительных и предложную омонимию. Для этого введено понятие обобщенного предлога (ОП) в виде пары (<обычный предлог>, <индуцируемый им падеж существительного>). Беспредложное управление считается соответствующим пустому предлогу. Чтобы кооптировать и специальные случаи, введено три новых подкласса ОП и построен многократно расширенный список ОП, часть пока гипотетических. Это позволило единообразно описать более миллиона предложных словосочетаний. Словосочетания с конкретным управляющим словом делятся на группы с одинаковым ОП, названные обобщенными валентностями (ОВ). Они включают и обычные, сильноуправляемые валентности. У управляющего глагола или существительного может быть несколько десятков ОВ, а вместе они составляют расширенную модель управления. Снабдив каждую ОВ семантическими маркерами подчиненных существительных, получаем удобное средство парсинга.*

**Ключевые слова:** предлоги, обобщенные предлоги, падежи, модифицированные предлоги, обобщенные валентности, расширенные модели управления

### ВВЕДЕНИЕ

Согласно сложившейся терминологии, предлоги – это служебная часть речи, выражающая синтаксическую зависимость существительных от других слов в словосочетаниях, в первую очередь от глаголов и существительных. В компьютерной лингвистике предлоги часто игнорируются при информационном поиске. Из-за абстрактной и многозначной семантики их обычно относят к стоп-словам. Однако для парсинга при глубокой обработке естественного языка предлоги очень важны. Как свидетельствует специальный выпуск «Computational Linguistics» [1], мировые исследования по предлогам за прошедшие десятилетия были в первую очередь направлены на разрешение структурной неоднозначности английских фраз типа V Pr1 N1 Pr2 N2, где V — глагол, Pr — предлоги, N — существительные. Основные достижения были получены при учете модели управления (т.е. совокупности валентностей = аргументной структуры = субкатегориального фрейма) глагола и его смысловой сочетаемости с обоими существительными.

Все это означает, что в системах обработки естественного языка, основанных на правилах, интерес представляют: (1) предлоги как средство синтаксической связи, (2) семантика существительных, связанных с глаголом через предлог. Мы подразумеваем

здесь грамматику зависимостей [2], в рамках которой предлог имеет единственную входную стрелку управления от управляющего слова и единственную выходную стрелку на управляемое слово.

Еще в 70-х гг. XX в. группа Ю.Д. Апресяна под идейным руководством И.А. Мельчука ввела модели управления глаголов для парсинга естественных языковых текстов в системе ЭТАП [3]. При валентностях, соответствующих сильным связям, стояли нужные предлоги или падежи подчиненных существительных, а также семантические маркеры этих имен.

Эффективным средством подбора и классификации русских предложных словосочетаний и входящих в них предлогов оказался словарь КроссЛексика [4, 5]. При его создании возникла необходимость: (1) единообразного описания как предложных, так и беспредложных конструкций; (2) учета омонимов предлогов, требующих разных падежей (например, *в1* требует винительного падежа: *в коробку*, *в2* — предложного: *в коробке*, *в3* — местного: *в аэропорту*, а *в4* — именительного: *пойти в официанты*); (3) отдельного учета предлогов с наращением *-о*, например, *с* и *со*, *к* и *ко*; (4) включения массы многословных предлогов типа *со стороны*, *по сравнению с* или *в вопросах по поводу*.

Единообразие описания русских предлогов может быть достигнуто указанием у *любого* предлога им-

плицируемого им падежа подчиненного существительного. Если для английского языка предлог как знак включает означающее (буквенную цепочку) и означаемое (смысл), то для славянских языков нужно учесть еще третий компонент – синтактику. В общем случае синтактика указывает, что требуют от знака соседи и что он требует от соседей. В данном случае синтактикой явился падеж подчиненного существительного.

Обобщенный предлог введем в виде пары

$$(1) \text{ ОП} = (\langle \text{буквенная цепочка} \rangle, \langle \text{требуемый падеж} \rangle) = (\text{Pr}, \text{CASE}) = \text{Pr}_{\text{CASE}}.$$

Для беспредложных словосочетаний постулируем обобщенный предлог с пустой буквенной цепочкой  $\emptyset$ .

Первоначально взятые нами примерно 200 предлогов [6], пополненные затем из [7], были достаточны при структурном описании первого, наиболее употребительного полумиллиона словосочетаний, которые универсально кодировались в виде цепочек

$$(2) \quad (V / N / \text{Adj} / \text{Part} / \text{Adv} / \text{Ger}) \rightarrow \text{ОП} \rightarrow N,$$

где Adj — прилагательное, Part — причастие, Ger — деепричастие, Adv — наречие.

Когда же число предложных словосочетаний в нашей базе данных заметно превысило полмиллиона, а число внешне похожих словосочетаний, не включенных в БД из-за своих «предложных» особенностей, превысило несколько сот, было решено как-то кооптировать и особые случаи. Для этого были введены три новых подкласса обобщенных предлогов, где в качестве предлогов или их частей рассматриваются и непредложные слова с перенесенной на них синтактикой предлога. Новые подклассы позволили единообразно описать как ранее найденные, так и все вновь встречаемые словосочетания.

На наши решения существенно повлияло появление книги [8] и ранее – статьи [9]. Здесь было введено понятие средств предложного типа, т.е. непредложных слов, играющих роль предлогов; найдено множество редких предлогов; указано наличие парадигм у сложных предлогов типа *в вопросе – в вопросах* и рекомендовано учитывать варианты ненормативного употребления предлогов.

После введения новых подклассов обобщенных предлогов был составлен многократно расширенный их список, включая гипотетические случаи, пока отсутствующие в текущей базе данных. Затем, параллельно с вводом случайно встреченных новых словосочетаний, начался систематический поиск тех, которые верифицируют новые компоненты кандидатского списка. Обобщенный предлог признается верифицированным, когда в БД попадает хотя бы одно включающего его словосочетание. Каждому обобщенному предлогу при данном глаголе соответствует валентность в расширенном ее понимании. Эти валентности покрывают случаи как сильных, так и слабых управляющих связей. Последние обычно считаются обстоятельственными, но они не менее полезны при парсинге текстов произвольного происхождения.

Настоящая статья рассматривает разнообразные обобщенные предлоги, включая вновь предложенные, по подклассам, дает статистику употребления

предлогов в словосочетаниях с управляющими глаголами и существительными и приводит примеры моделей управления двух этих частей речи при расширенном списке предлогов. Описываются расширенные модели управления для глаголов и существительных.

## ПРЕДЛОГИ РАЗНЫХ ТИПОВ

### Пустые, первообразные и производные предлоги

В русском языке известны восемь падежей (табл. 1).

Таблица 1

#### Русские падежи

Русское название	Международное название	Символ
Именительный	Номинатив	<b>NOM</b>
Родительный	Генитив	<b>GEN</b>
Дательный	Датив	<b>DAT</b>
Винительный	Аккузатив	<b>ACC</b>
Творительный	Инструменталь	<b>INS</b>
Предложный	Препозитив	<b>PRE</b>
Частичный = 2-й родительный	Партитив	<b>PAR</b>
Местный = 2-й предложный	Локатив	<b>LOC</b>

Пустых обобщенных предлогов мы вводим пять (табл. 2).

Таблица 2

#### Пустые обобщенные предлоги

ОП	Пример словосочетания
$\emptyset_{\text{GEN}}$	<i>Лишиться</i> → $\emptyset_{\text{GEN}}$ → <i>брат</i> <sub>GEN</sub>
$\emptyset_{\text{DAT}}$	<i>Дать</i> → $\emptyset_{\text{DAT}}$ → <i>брат</i> <sub>DAT</sub>
$\emptyset_{\text{ACC}}$	<i>Любить</i> → $\emptyset_{\text{ACC}}$ → <i>брат</i> <sub>ACC</sub>
$\emptyset_{\text{INS}}$	<i>Гордиться</i> → $\emptyset_{\text{INS}}$ → <i>брат</i> <sub>INS</sub>
$\emptyset_{\text{PAR}}$	<i>Выпить</i> → $\emptyset_{\text{PAR}}$ → <i>коньяк</i> <sub>PAR</sub>

Первообразных (примитивных) предлогов в русском языке 19: *без, в, для, до, за, из, к, на, над, о, от, перед, по, под, при, про, с, у, через*. С учетом наращения *-о* и омонимии получаем из них 50 обобщенных предлогов: *без*<sub>GEN</sub>, *безо*<sub>GEN</sub>, *в*<sub>ACC/PRE/LOC/NOM</sub>, *во*<sub>ACC/PRE/LOC/NOM</sub>, *для*<sub>GEN</sub>, *до*<sub>GEN</sub>, *за*<sub>ACC/INS</sub>, *из*<sub>GEN</sub>, *изо*<sub>GEN</sub>, *к*<sub>DAT</sub>, *ко*<sub>DAT</sub>, *на*<sub>ACC/PRE/LOC</sub>, *над*<sub>INS</sub>, *надо*<sub>INS</sub>, *о*<sub>PRE</sub>, *об*<sub>PRE</sub>, *обо*<sub>PRE</sub>, *от*<sub>GEN</sub>, *ото*<sub>GEN</sub>, *перед*<sub>INS</sub>, *передо*<sub>INS</sub>, *по*<sub>ACC/DAT/PRE</sub>, *под*<sub>ACC/INS</sub>, *подо*<sub>ACC/INS</sub>, *при*<sub>PRE</sub>, *про*<sub>ACC</sub>, *с*<sub>GEN/INS/ACC/PAR</sub>, *со*<sub>GEN/INS/ACC/PAR</sub>, *у*<sub>GEN</sub>, *через*<sub>ACC</sub>, *черезо*<sub>ACC</sub>. Подключим сюда и устаревшие варианты *пред/предо*<sub>INS</sub>, *чрез/чрезо*<sub>ACC</sub>.

Производные предлоги образуются из слов разных частей речи. Некоторые повторяют наречия: *вокруг*<sub>GEN</sub>, *вдоль*<sub>GEN</sub>, *внутри*<sub>GEN</sub>, *возле*<sub>GEN</sub>, другие – деепричастия: *спустя*<sub>ACC</sub>, *благодаря*<sub>DAT</sub>. Следуя [8], мы считаем средством предложного типа сравнительные степени наречий в словосочетаниях типа *заработать больше миллиона* или *уметь лучше учителя*.

Среди производных предлогов часты обороты с первообразными предлогами в начале: (*по поводу*)<sub>GEN</sub>, (*в течение*)<sub>GEN</sub>, (*в отношении*)<sub>GEN</sub>, (*во время*)<sub>GEN</sub>. Мы относим к производным предлогам и группы из наречия и первообразного предлога: (*вдоль по*)<sub>DAT</sub>, (*внутри у*)<sub>GEN</sub>, (*недалеко от*)<sub>GEN</sub>.

Примечателен предлог *между*, два обобщенных предлога для которого являются одновременно синонимами и омонимами, различаясь лишь синтактикой (*бегать между стульями* vs. *бегать между стульев*).

Канцелярский подъязык привнес неуклюжие предлоги типа (*в соответствии с*)<sub>INS</sub>, (*в вопросах/вопросе*)<sub>GEN</sub>, (*в вопросах/вопросе касаясь*)<sub>GEN</sub>, (*в вопросах/вопросе касательно*)<sub>GEN</sub>, (*в вопросах/вопросе насчет*)<sub>GEN</sub>, (*в вопросах/вопросе о/об/обо*)<sub>PRE</sub>, (*в вопросах/вопросе относительно*)<sub>GEN</sub>, (*в вопросах/вопросе по поводу*)<sub>GEN</sub> и проч.

Многословные предлоги имеют внутреннюю структуру (*в → вопросах → по → поводу*), но в компьютерной лингвистике разумнее рассматривать их как единое слово с пробелами. Однако обороты типа *в полном соответствии с* или *по этому поводу* из-за разрывности не считаются едиными сущностями.

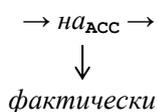
Среди производных предлогов есть составные с дефисом, общеупотребительные *из-за*<sub>GEN</sub>, *из-под*<sub>GEN</sub> и более редкие *по-над*<sub>INS</sub>, *по-под*<sub>INS</sub>, *за-ради*<sub>GEN</sub>. К ним идейно примыкает пара без дефиса (*до после*)<sub>GEN</sub>: *отложить до после праздника*.

В общий список обобщенных предлогов мы включили сочиненные пары и тройки (*над и под*)<sub>INS</sub>, (*до и после*)<sub>GEN</sub>, (*сверху и снизу*)<sub>GEN</sub>, (*снаружи и внутри*)<sub>GEN</sub>, (*снаружи или внутри*)<sub>GEN</sub>, (*до, во время и после*)<sub>GEN</sub>, (*слева и справа от*)<sub>GEN</sub> и т.д. Учтены и немногочисленные иностранные заимствования: *а-ля*<sub>NOM</sub> и *версус*<sub>NOM</sub> (в словосочетаниях N1 Pг N2), а также синонимичные варианты (*в пандан*)<sub>DAT</sub>, (*в пандан*)<sub>GEN</sub>, (*в пандан к/ко*)<sub>DAT</sub>, (*в пандан с/со*)<sub>INS</sub> и (*в пандане с/со*)<sub>INS</sub>.

## Модифицированные предлоги

В русских текстах встречается множество словосочетаний, в которых слово (слова), предшествующее обычному предлогу, синтаксически связано не с управляющим словом, а с предложной группой: *Опоздал фактически на неделю; Сессию отложили только лишь на день*. Такие слова назовем *модификаторами* предлогов. Это ограничительные частицы (*будто, всего, всего-навсего, как раз, лишь, не, не иначе как, ни, почти, почти как, прямо, прямо-таки, только, только лишь...*) либо наречия в той же ограничительной роли (*вполне, действительно, полностью, практически, просто, фактически, чисто, явно...*).

Хотя сфера действия модификатора покрывает всю предложную группу, естественным способом его включения в синтаксическую структуру видится в его подчинении предлогу:



(ниже для зависимостных структур мы используем эквивалентную линейную запись типа  $\rightarrow$  (*факти-*

*чески*  $\leftarrow$ ) *на*<sub>ACC</sub>  $\rightarrow$ ). Предлог вместе с ограничительным словом (словами) мы стягиваем в единый структурный узел и называем *модифицированным* предлогом, включая в список ОП отдельно. Список наиболее частых модификаторов содержит более 40 единиц, и, сочетая каждый из них с каждым из 60 наиболее употребляемых обычных предлогов, получаем более чем двухтысячное пополнение гипотетических обобщенных предлогов.

## Компаративные предлоги

В русском и в иных языках существуют компаративные союзы: *как, словно, словно как, будто*. Они вводят подчиненное предложение со сравниваемой сущностью. Когда подчиненное предложение структурно и лексически подобно главному, повторы опускаются (опущенные слова даны ниже в фигурных скобках):

(3) (Он  $\leftarrow$ ) *выглядел*  $\rightarrow$  *как*  $\rightarrow$   
 { (он  $\leftarrow$ ) *выглядел*  $\rightarrow$  } *после*<sub>GEN</sub>  $\rightarrow$  *попойки*.

Предлагается считать совокупность союза до эллипсиса и G-предлога после него *компаративным* ОП с синтактикой инкорпорируемого G-предлога. В (3) компаративный ОП имеет вид (*как после*)<sub>GEN</sub>. Вот другие примеры G-предлогов с тем же союзом: (*как в*)<sub>ACC</sub>, (*как в*)<sub>PRE</sub>, (*как из*)<sub>GEN</sub>, (*как на*)<sub>ACC</sub>, (*как на*)<sub>PRE</sub>.

Поскольку любой компаративный союз сочетается со всеми обычными предлогами, в общий список обобщенных предлогов попадает еще несколько сот новых единиц.

## Рескрипционные предлоги

Сравним фразу с компаративным обобщенным предлогом

(4) *приготовил*  $\rightarrow$  (*как для*)<sub>GEN</sub>  $\rightarrow$  *друга*

с фразой *подарил как другу*. Если вставить в последнюю после *как* фиктивный узел  $\emptyset$ <sub>DAT</sub>, а затем «спаять» [*как*  $\rightarrow$   $\emptyset$ <sub>DAT</sub>] в ОП нового типа *как*<sub>DAT</sub>, получится структура, аналогичная (4): *подарил*  $\rightarrow$  *как*<sub>DAT</sub>  $\rightarrow$  *другу*.

Для единообразия описания здесь предложная синтактика приписывается явно непредложному слову. При этом все управляющие связи сохраняют свое направление. Будем называть введенные таким образом обобщенные предлоги *рескрипционными*.

Если у данного глагола есть модель беспредложного управления, она дополняется параллельными валентностями со сравнениями. Для каждого компаративного союза, непосредственно управляющего теперь существительными, вводится шесть разных ОП (табл. 3). Сюда включена и валентность сравнения с подлежащим опущенного подчиненного предложения, см. строку с (*как*, **NOM**).

Аналогичная операция переноса синтактики предлагается и для случаев, когда стандартный предложный модификатор во фразе есть, а собственно предлога после него нет. Сравним фразу с модифицированным предлогом

(5) *сохранил*  $\rightarrow$  (*только для*)<sub>GEN</sub>  $\rightarrow$  *вида*

с фразой *сохранил только вид*. Если вставить в нее после *только* фиктивный узел  $\emptyset$ <sub>ACC</sub>, а затем «спаять»

[*только* ∅<sub>ACC</sub>] в рескрипционный предлог *только*<sub>ACC</sub>, получим структуру, похожую на (5): *сохранил* → *только*<sub>ACC</sub> → *вид*. Нужно признать, что в данном случае наша новация чисто формальна, поскольку меняет направление управления: в паре *только вид* управляющим, строго говоря, является второе слово.

Перенос предложной синтактики на непредложное слово дает единое описание вида (2) для сотен новых словосочетаний, включая фразы с частицами *не* и *ни*: *Он* ← (*не* ←) *выпил* → *ни*<sub>GEN</sub> → *капли*.

## СТАТИСТИКА ОБОБЩЕННЫХ ПРЕДЛОГОВ В VPrN- И VN-СЛОВСОЧЕТАНИЯХ

Общее число словосочетаний в КроссЛексике на февраль 2017 г. равно 3 млн. Из них словосочетания с управляемыми существительными подразделяются на следующие типы: V Pr N (482 тыс. включая связи с подлежащими), N1 Pr N2 (264 тыс.), Part/Adj Pr N (224 тыс.) и Ger/Adv Pr N (182 тыс.). Поскольку

относительно предлогов два последних типа словосочетаний подобны первому типу, далее рассматриваются только словосочетания типа V Pr N и N Pr N.

Расширенный список обобщенных предлогов включает 4360 единиц. Из них 1917 уже верифицированы VPrN-словосочетаниями, и с десятком иных верифицированы NPrN-словосочетаниями. Округленно верифицированными считаем 1920 ОП – это 44% списка.

Статистика 20 первых рангов обобщенных предлогов в VPrN-словосочетаниях показана в табл. 4.

Более полное представление о распределении словосочетаний по разным обобщенным предлогам дают квантили, т. е. доли словосочетаний, покрываемых разными топ-группами (табл. 5). Отмечаем, что примерно 80% VPrN-словосочетаний покрывается с помощью 23 ОП высших рангов (1,2% верифицированного списка ОП). Они включают лишь 18 разных обычных предлогов.

Таблица 3

### Примеры рескрипционных обобщенных предлогов

ОП	Пример	Словосочетаний
( <i>как</i> , <b>NOM</b> )	<i>Поступил как герой</i>	1049
( <i>как</i> , <b>GEN</b> )	<i>Не хватать как воды</i>	4
( <i>как</i> , <b>DAT</b> )	<i>Подарить как другу</i>	13
( <i>как</i> , <b>ACC</b> )	<i>Встретили как героя</i>	671
( <i>как</i> , <b>INS</b> )	<i>Ударил как обухом</i>	16
( <i>как</i> , <b>PAR</b> )	<i>Как меду напились</i>	1

Таблица 4

### Топ-20 обобщенных предлогов в VPrN-словосочетаниях

Число словосочет.	ОП	Число словосочет.	ОП
20559	( <i>в</i> , <b>PRE</b> )	4066	( <i>о</i> , <b>PRE</b> )
20310	( <i>в</i> , <b>ACC</b> )	3084	( <i>с</i> , <b>GEN</b> )
19972	( <i>на</i> , <b>ACC</b> )	2637	( <i>за</i> , <b>INS</b> )
14317	( <i>к</i> , <b>DAT</b> )	2543	( <i>до</i> , <b>GEN</b> )
11392	( <i>на</i> , <b>PRE</b> )	2324	( <i>у</i> , <b>GEN</b> )
9614	( <i>с</i> , <b>INS</b> )	2297	( <i>с помощью</i> , <b>GEN</b> )
9180	( <i>от</i> , <b>GEN</b> )	1788	( <i>через</i> , <b>ACC</b> )
7031	( <i>по</i> , <b>DAT</b> )	1787	( <i>перед</i> , <b>INS</b> )
6799	( <i>из</i> , <b>GEN</b> )	1177	( <i>при</i> , <b>PRE</b> )
4884	( <i>за</i> , <b>ACC</b> )	1129	( <i>без</i> , <b>GEN</b> )

Таблица 5

### Квантили обобщенных предлогов в топ-группах VPrN-словосочетаний

Размер топ-группы	Заключительный ОП группы	Доля топ-группы, %	Доля словосочет. в топ-группе, %
5	( <i>на</i> , <b>PRE</b> )	0,26	45,9
9	( <i>из</i> , <b>GEN</b> )	0,47	63,2
23	( <i>под</i> , <b>ACC</b> )	1,20	80,7
51	( <i>в виде</i> , <b>GEN</b> )	2,65	90,1
118	( <i>ко</i> , <b>DAT</b> )	6,14	95,0

Число беспредложных VN-словосочетаний равно 293,7 тыс., а словосочетания с предлогами и без них соотносятся как 39:61. Распределение беспредложных словосочетаний по падежам таково: **GEN: 12402, DAT: 11071, ACC: 220865, INS: 49210, PAR: 178**. Наиболее частотен беспредложный аккумулятив, соответствующий транзитивным глаголам с прямыми дополнениями (75,2% всех VN-словосочетаний). Второй ранг у творительного падежа (16,8%), им формируются пассивные конструкции. На остальные три падежа остается 8%.

## СТАТИСТИКА ОБОБЩЕННЫХ ПРЕДЛОГОВ В NPN- И NN-СЛОВСОЧЕТАНИЯХ

Перейдем к статистике предлогов в NPrN-словосочетаниях. Всего их 75,4 тыс., а топ-20 обобщенных предлогов покрывают 87,9% словосочетаний (табл. 6).

Сравнение данных табл. 4 и 6 показывает, что девять наиболее частотных обобщенных предлогов у двух управляющих частей речи отличается лишь одним компонентом, хотя квантили различны (табл. 7). Для покрытия 80% NPrN-словосочетаний достаточно 17 ОП, среди них лишь 14 разных обычных предлогов.

Количество NN-словосочетаний (без предлогов) равно 188,2 тыс., а соотношение случаев с предлогами и без них равно 29:71. Вот распределение по падежам: **GEN: 178918, DAT: 2301, ACC: 192,**

**INS: 6756, PAR: 51**. Наиболее употребителен генитив. Вместе с синонимичным ему партитивом он покрывает 95% беспредложных словосочетаний. Инструменталь на втором месте (4%), а датив с аккумулятивом суммарно покрывают чуть более процента.

## РАСШИРЕННЫЕ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ

### Понятие и примеры

Если распределить VPrN-словосочетания по разным глаголам и разделить возникшие группы на подгруппы с разными обобщенными предлогами, то получим структуры, которые назовем расширенными моделями управления (РМУ) глаголов, где подгруппы характеризуют обобщенные валентности (ОВ). Они отвечают на один и тот же вопрос, например, *создать что / кого? – авиадвигатель, автомат, автоматикет*. При этом в одну и ту же ОВ попадают обобщенные предлоги с завершающими обычными предлогами *с, в, к* и с их расширенными вариантами *со, во, ко*. Обобщенные валентности включают, естественно, и сильные управляющие связи (истинные валентности), но автоматических методов их обособления так никто и не предложил.

На данный момент построены расширенные модели управления более чем для 15 тыс. глаголов (связи подлежащее – сказуемое рассматриваются отдельно). Приведем два примера.

Таблица 6

Топ-20 обобщенных предлогов в NPN-словосочетаниях

Число словосочет.	ОП	Число словосочет.	ОП
10098	(в, PRE)	2541	(от, GEN)
6607	(на, ACC)	1475	(за, ACC)
5745	(с, INS)	1207	(у, GEN)
5155	(к, DAT)	1098	(при, PRE)
5002	(по, DAT)	819	(по поводу, GEN)
4418	(в, ACC)	692	(с, GEN)
4167	(для, GEN)	676	(между, GEN)
4033	(на, PRE)	656	(относительно, GEN)
3365	(из, GEN)	654	(за, INS)
3276	(о, PRE)	620	(против, GEN)

Таблица 7

Квантили обобщенных предлогов в топ-группах NPrN-словосочетаний

Размер топ-группы	Заключительный ОП группы	Доля топ-группы, %	Доля словосочет. в топ-группе, %
5	(по, DAT)	0,26	43,2
9	(из, GEN)	0,47	64,4
17	(между, GEN)	0,88	80,0
36	(в адрес, GEN)	1,87	90,3
58	(из-под, GEN)	3,02	95,1

У транзитивного глагола *создать* обнаружено 35 валентностей. Вот самые мощные по числу словосочетаний: *что / кого* — 1107 словосочетаний, *при помощи чего / кого* — 28, *путем чего* — 21, *на основе чего* — 18, *из чего / кого* — 18, *с помощью чего / кого* — 16, *в чем / ком* — 9, *при чем / ком* — 8, *для чего / кого* — 6, *по чему / кому* — 5, *на чем / ком* — 4, *по примеру чего / кого* — 4, *чем / кем* — 3, *через что / кого* — 2, *по образцу чего / кого* — 2, *под эгидой чего / кого* — 2. Остальные валентности пока представлены в БД одним словосочетанием каждая: *в подтверждение чего*, *за счет чего / кого*, *за что*, *ради чего / кого*, *согласно чему / кому*, *через что / кого*, *применительно к чему / кому*, *чего / кого*, *исходя из чего*, *на базе чего*, *по аналогии с чем*, *под углом чего*, *сообща с чем / кем*, *в добавок к чему / кому*, *совместно с чем / кем*, *лишь за что*, *фактически через что*, *явно для чего / кого*. Замечаем, что связь на прямое дополнение встречается заметно чаще прочих.

У нетранзитивного глагола *развиваться* выявлено 29 обобщенных валентностей: *благодаря чему / кому* — 28, *в направлении чего / кого* — 28, *после чего / кого* — 26, *в результате чего* — 22, *в соответствии с чем / кем* — 22, *в интересах чего / кого* — 21, *в условиях чего* — 21, *вместе с чем / кем* — 21, *несмотря на что* — 21, *согласно чему / кому* — 19, *на благо чего / кого* — 18, *параллельно с чем / кем* — 18, *во время чего / кого* — 13, *в чем / ком* — 12, *вопреки чему / кому* — 12, *невзирая на что* — 12, *к чему / кому* — 9, *по чему / кому* — 8, *на чем / ком* — 6, *под чем / кем* — 6, *за что / кого* — 6, *приблизительно за что / кого* — 6, *при чем / ком* — 3, *во что / в кого* — 2. Остальные валентности представлены одним словосочетанием: *с чем / кем*, *у чего / кого*, *на благо чему / кому*, *под флагом чего*, *приблизительно к чему*.

Аналогично строятся расширенные модели управления для управляющих существительных, их сейчас более 18 тыс. К примеру, существительное *получение* имеет 33 обобщенные валентности. Вот наиболее частотные из них: *чего / кого* — 878 словосочетаний, *от чего / кого* — 43, *по чему / кому* — 34, *из чего / кого* — 33, *чем / кем* — 27, *в чем / ком* — 12, *во что* — 12, *с помощью чего / кого* — 10, *через что / кого* — 8, *на чем / ком* — 7, *на что / кого* — 6, *за что / кого* — 4, *у чего / кого* — 4, *путем чего / кого* — 3. Следующие валентности представлены двумя словосочетаниями: *благодаря чему / кому*, *в качестве чего / кого*, *в связи с чем*, *на основе чего*, *после чего / кого*, *при помощи чего / кого*, *с чего / кого*. Одним словосочетанием представлены обобщенные предлоги: *в виде чего / кого*, *в придачу к чему / кому*, *в результате чего*, *в случае чего*, *вплоть до чего*, *для чего / кого*, *за счет чего / кого*, *по истечении чего*, *сверх чего*, *посредством чего*, *при условии чего*, *параллельно с чем / кем*.

### Уточнения и пояснения

Модели управления в системе ЭТАП [3] включали семантические маркеры, например, 'лицо'. Чтобы вводимые нами обобщенные модели управления (ОМУ) были эквивалентны оригинальным моделям управления, нужно найти соответствующие семантические маркеры для максимального числа словосочетаний и включить их в построенные ОМУ. Такая

операция возможна на основе синонимических и гипонимических связей, отображенных в КроссЛексике, что компьютерно пока не реализовано. Предполагая подробно рассмотреть проблему семантических маркеров в отдельной работе, дадим предварительные соображения.

Для ряда валентностей найти эти маркеры совсем легко. Например, валентность *брызнуть чем* в первую очередь подчиняет существительные с маркером 'жидкость' (*соком, слюной, водой...*). Такой маркер существует в КроссЛексике в виде гиперонима всех этих существительных, и он достигим одним или несколькими шагами вверх по классификационным иерархиям. Иными словами, валентность с маркером *жидкость* может быть автоматически подтверждена в тексте, даже когда ее конкретное название в словосочетаниях с данной валентностью пока не зафиксировано. Редкие исключения (в КроссЛексике это *брызнуть искрами / искорками*) парируются прямым сравнением с зафиксированными словосочетаниями.

В качестве более сложного случая рассмотрим валентность глагола *классифицировать что / кого*, которая представлена 82 существительными. Подавляющее их большинство может быть обобщенно охарактеризовано всего восьмью маркерами: 'вещества' (*биопрепараты, ингибиторы, стали...*); 'информация' (*показатели, слова, тренды, факты...*); 'артефакты (т.е. вещи / устройства / сооружения)' (*гидросооружения, испарители, швейные изделия...*); 'заболевания' (*ишемия, грипп, дисграфия...*); 'флора и фауна' (*амфибии, кошачьи, растения...*); 'организации / группы / лица' (*социальные институты, хозяйствующие субъекты...*); 'действия / процессы' (*преступления, социальные движения...*); 'коллекторы' (*наборы, композиции, виды и типы, приемы и способы...*). Тем самым число сущностей для сопоставления удастся заметно уменьшить и одновременно обеспечить применимость данной валентной связи, когда управляемое существительное с соответствующим маркером в словнике есть, но в словосочетаниях данного типа оно пока не зафиксировано.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Чтобы описать зависимость падежа управляемых русских существительных от управляющих ими предлогов, учесть омонимичность ряда предлогов и единообразно представить предложные и беспредложные словосочетания, нами введено понятие обобщенного предлога (ОП) в виде пары (<обычный предлог>, <индуцируемый им падеж существительного>). Беспредложное управление мы описали с помощью пустого предлога.

Когда количество предложных словосочетаний, собранных в словаре КроссЛексика, превысило 500 тыс., выяснилось, что с помощью привычных предлогов несколько сот словосочетаний, внешне похожих на предложные, отобразить нельзя. Тогда было введено три новых подкласса обобщенных предлогов: модифицированные, компаративные и рескрипционные, и вручную построен расширенный список потенциальных ОП более чем из 4 тыс. единиц. В итоге было достигнуто единообразное описание для всех до сих пор встреченных словосочетаний с

управляемыми существительными, но пока подтвердилось лишь 44% гипотетического списка обобщенных предлогов.

Статистика словосочетаний с разными обобщенными предлогами показала, что беспредложные случаи составляют 61% в словосочетаниях VN и 71% в словосочетаниях NN. В то же время 80% предложных словосочетаний с управляющими глаголами содержат лишь 23 разных ОП (среди них 18 обычных предлогов), а с управляющими существительными – 17 разных ОП (среди них 14 обычных предлогов). Это значит, что умение распознавать падежи в беспредложных словосочетаниях и владение менее чем 20-ю обычными предлогами позволяет понимать и составлять примерно 93% каждодневных русских словосочетаний. Остальные обобщенные предлоги встречаются преимущественно в канцелярских, научных и общественно-политических текстах, где они весьма существенны. Наша статистика объясняет, почему рядовой носитель русского языка вспоминает и употребляет лишь около двух десятков предлогов. Построенная же нами расширенная номенклатура предлогов нацелена на более сложные тексты.

Расширенный список предлогов покрывает введенные нами обобщенные валентности и расширенные модели управления. Это обширные совокупности существительных, подчиненных примерно 15 тыс. глаголов и 18 тыс. других существительных. Например, у глагола *создать* выявлено 35 обобщенных валентностей, а у существительного *получение* – 33, и число валентностей ничем не ограничено. Число же словосочетаний, иллюстрирующих в нашей базе данных каждую отдельную валентность, крайне вариативно. Выявлены случаи, когда это число превышает тысячу, и продолжающееся накопление словосочетаний предвещает новые рекорды.

Обобщенные валентности позволяют обнаруживать в текстах глагольное и именное управление не только в случаях, когда управляемое существительное уже зафиксировано в соответствующих словосочетаниях. Для более широкого охвата нужны лишь семантические маркеры существительных, входящих в уже построенные валентности. Если существительное, не входящее с данной валентностью в БД, обладает одним из этих маркеров, соответствующая синтаксическая связь для этого существительного гарантирована. Построению указанной системы маркеров будет посвящена отдельная работа.

\* \* \*

Автор благодарит А.Ф. Гельбуха за внедрение системы валентностей и постоянную помощь в работе. Очень ценны и остро критические замечания И.А. Мельчука, но некоторые из них не были учтены, поскольку данная работа носит скорее инженерно-технический характер.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Baldwin T.V., Kordoni A. Villavicencio. Prepositions in Applications: A Survey and Introduction to the Special Issue // Computational Linguistics. – 2009 – 35(2). – P. 119–149.
2. Polguère A. I., Mel'cuk J. Dependency in Linguistic Description. – John Benjamin Publ, 2009. – 281 p.
3. Апресян Ю.Д., Богуславский И.М., Иомдин Л.Л., Лазурский А.В., Перцов Н.В., Санников В.З., Цинман Л.Л. Лингвистическое обеспечение системы ЭТАП-2. – М.: Наука, 1989. – 296 с.
4. Большаков И.А. КроссЛексика: Универсум связей между русскими словами // Бизнес-информатика. – 2013. – №3 (25). – С. 19–26.
5. CrossLexica dictionary. – URL: [xl.gelbukh.com](http://xl.gelbukh.com)
6. Большаков И.А. Репертуар предлогов в русских деловых текстах // Научная и техническая информация. Сер. 2. – 1995. – № 4. – С. 21–26.
7. Словарь наречий и служебных слов русского языка / состав. В.В. Бурцева. – М.: Русский язык – Медиа Пресс, 2007. – 752 с.
8. Всеволодова М.В., Кукушкина О.В., Поликарпов А.А. Русские предлоги и средства предложного типа. Материалы к функционально-грамматическому описанию реального употребления. Книга 1. – М.: URSS, 2014. – 306 с.
9. Гордиевских М.В. Морфологическая парадигма русских предложных единиц // Труды и материалы III Международного конгресса исследователей русского языка. – М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, 2007. – С. 273–274.

*Материал поступил в редакцию 15.05.17.*

## Сведения об авторе

**БОЛЬШАКОВ Игорь Алексеевич** – доктор технических наук, профессор, независимый исследователь, Москва  
e-mail: [bolshakov34@mail.ru](mailto:bolshakov34@mail.ru)

**ИНФОРМАЦИОННОЕ ПИСЬМО И ПРИГЛАШЕНИЕ**  
**МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ К 65-ЛЕТИЮ ВИНТИ РАН**  
**«ИНФОРМАЦИЯ В СОВРЕМЕННОМ МИРЕ»**  
**Москва, 25-26 октября 2017 г.**

подробная информация на сайте: <http://www.viniti.ru>

**Главный организатор:**

Всероссийский институт научной и технической информации  
Российской академии наук (ВИНИТИ РАН)

**Соорганизаторы:**

Российская академия наук  
Федеральное агентство научных организаций  
Российский фонд фундаментальных исследований  
Министерство образования и науки РФ

**Проблемно-тематическое направление конференции:** современный издательский процесс, интеллектуальная собственность, научные библиотеки, информационное обеспечение научной и инновационной деятельности, информационные технологии для научной и библиотечной отрасли, информационная безопасность, международное сотрудничество и информационный обмен, инфометрия, классификации, стандартизация, образование для отрасли, экономика информации

**Основные вопросы, предлагаемые к обсуждению:**

- Популяризация научных знаний: Новые модели распространения научной информации
- Редакционно-издательская деятельность в цифровой среде: продукты и сервисы
- Издательские стандарты и технологии
- Перспективы развития книжного дела. Проекты и программы
- Взаимодействие цифровых и печатных ресурсов в научно-технической библиотеке
- Информационно-библиотечное обслуживание: сервисный подход
- Управление данными и навигация в современной научной библиотеке
- Научные библиотечные консорциумы – основные подписчики на научную литературу
- Перспективы развития национальных систем научно-технической информации
- Государственные проекты и программы поддержки информационного обеспечения научно-образовательной деятельности
- Тенденции развития региональных аналитических центров
- Информационное обеспечение экспертной деятельности. Использование информационно-аналитических систем для управления наукой и образованием
- Формальные и неформальные каналы развития современных научных коммуникаций

- Современные агрегаторы научной литературы открытого доступа как источник научной информации
- Машинная обработка данных и аналитические исследования: Приоритеты и сотрудничество
- Использование специальных сервисов компании CrossRef для идентификации научных публикаций
- Роль поисковых систем в современном издательском процессе
- Защита данных от несанкционированного использования. Маркеры безопасности. Политика безопасности открытых систем
- Вопросы достоверности и доверенности при обработке информационного потока
- Межгосударственный обмен научно-технической информацией на евразийском пространстве
- Информационное взаимодействие в рамках СНГ
- Международное партнерство при хранении и обработке больших массивов данных
- Современное состояние систем классификации знаний как инструмента индексирования и поиска данных по перспективным направлениям науки и критическим технологиям
- Современные библиометрические методы определения научных лидеров: Новые математические модели
- Анализ читательской аудитории научной литературы путем вебметрического анализа
- Подготовка специалистов в сфере научно-информационной деятельности
- Мастер-класс по работе с классификационными системами (УДК, ГРНТИ)
- Информация как источник цифрового капитала и фактор социальных изменений
- Информационная деятельность как фактор национальной экономики
- Новейшие бизнес-модели для публикаций открытого и закрытого доступа

На конференции планируются доклады представителей ведущих информационных центров и научно-технических библиотек России, СНГ и дальнего зарубежья.

В рамках юбилейной конференции состоится научно-практический семинар по классификационным системам «Перспективные направления научных исследований и критические технологии в классификационных системах». Предполагается проведение специализированных обучающих мероприятий по УДК индексированию. Запланировано заседание методического совета пользователей ГРНТИ и УДК. Участники конференции получают свидетельства о повышении квалификации.

Материалы конференции будут опубликованы в сборнике Трудов и на CD-ROM, основные – в сборнике **«Научно-техническая информация»**.

### **Доклады**

Принимаются оригинальные работы, имеющие научное и прикладное значение, соответствующие тематическим направлениям конференции и НЕ ОПУБЛИКОВАННЫЕ ГДЕ-ЛИБО РАНЕЕ.

*Предлагаемый доклад должен отвечать следующим требованиям:*

1. Необходимо указать название доклада, фамилию, имя, отчество (полностью) авторов/соавторов, название организации, город, страну, выделить автора, который будет представлять доклад.
2. Необходимо наличие аннотации, раскрывающей содержание доклада. Размер аннотации - не более 850 знаков (включая пробелы).
3. Доклады принимаются только в электронной форме; тексты – в формате MS Word; схемы, диаграммы, фотографии, сканированные виды экранов и т. п. - в формате JPG. Объем доклада вместе с аннотацией, рисунками, приложениями и т.п. не более 10 страниц формата А4.
4. Доклад необходимо выслать по электронной почте до 11 сентября 2017 г. в адрес оргкомитета: [conf@viniti.ru](mailto:conf@viniti.ru)

Доклады, не соответствующие вышеуказанным требованиям,  
**НЕ РАССМАТРИВАЮТСЯ.**

Программный комитет оставляет за собой право определять статус доклада (пленарный доклад, доклад, стендовый доклад), включать принятые доклады в те или иные секции.

Время для выступления: пленарные доклады – 15–20 мин., доклады на отдельных мероприятиях – до 10 мин. Доклады включаются в Труды на основании решения экспертов оргкомитета.

**Контакты:** 125190, Москва, ул. Усиевича, 20, ВИНТИ РАН

Телефоны: 8 (499) 152 61 13, 8 (499) 155 42 52, 8 (499) 151 02 61. Факс 8 (499) 943 00 60

Интернет-сайт: <http://www.viniti.ru> Эл. почта: [conf@viniti.ru](mailto:conf@viniti.ru)