

НАУЧНО • ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

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

Издается с 1961 г.

№ 3

Москва 2019

ОБЩИЙ РАЗДЕЛ

УДК 001.891:002.2(470+571)

Р.С. Гиляревский, А.Н. Либкинд, В.А. Маркусова

Динамика публикационной активности России в 1993-2017 гг. по данным *Web of Science**

Анализируются формальные характеристики публикационной активности российских ученых. В качестве источников исходной информации использованы данные Science Citation Index-Expanded (SCI-E), Social Science Citation Index (SSCI), Arts and Humanities Citation Index (A&HCI), а также Journal Citation Reports (JCR) за 1993-2017 гг. Учитываются: ежегодное число публикаций России, мирового потока; доля российских публикаций по каждой области науки в мировом потоке; место (ранг) России, которое она занимает по числу публикаций в этом направлении исследований среди других стран мира; доля публикаций России по определенной области науки в общем числе российских публикаций; средний и средневзвешенный импакт-фактор заданного набора журналов.

Ключевые слова: публикационная активность России, данные *Web of Science*, мировой поток научных публикаций, доля России в потоке публикаций

* Статья написана в ходе выполнения государственного задания № 0003-2019-0001 «Наукометрический и библиометрический анализ научных направлений и инновационных технологий, включая модели международного и российского сотрудничества».

ВВЕДЕНИЕ

Создание доктором Ю. Гарфилдом «Указателя библиографических ссылок в естественных науках» (*Science Citation Index – SCI*) и его регулярный выпуск с 1964 г. привели к широкому использованию показателей публикационной активности для оценки вклада стран в мировую науку [1]. Публикационная активность оценивается количеством научных публикаций, в основном статей в научных журналах. В середине 1960-х гг. после выхода в свет *SCI* в профессиональном библиотечно-информационном сообществе возникли дискуссии по поводу возможных искажений в данных цитируемости. В качестве примера приводилась чрезвычайно высокая цитируемость работ Т. Лысенко.

Однако, для больших массивов информации в *Web of Science* гонконгской фирмы *Clarivate Analytics*, неэтичность цитирования оказывается статистически незначимой. Как отмечал Ю. Гарфилд, цитирование публикации – лишь показатель влияния работы предшественника, а было это цитирование отрицательным или положительным решает научное сообщество. Тем не менее масштабы использования этих показателей политиками и бюрократами от науки привели к неправомерному их использованию.

Ю. Гарфилд писал: «Мы являемся свидетелями превращения библиометрических исследований в новую отрасль индустрии – оценку результативности научных исследований, выполняемых в университетских и научных коллективах» [2]. И хотя в научном сообществе растет недовольство увлечением всевозможными рейтингами и оценками, влияние этих показателей на финансирование фундаментальной науки в мире все более заметно. Следует указать, что в журнале «*Scientometrics*» за последние два года появилось несколько отечественных статей, посвященных публикационной активности России [3–5]. В работе [5] показано, что за 2012–2016 гг. ежегодный темп роста отечественных публикаций был выше, чем в остальных странах БРИК, и что публикационная активность наших ученых, во всяком случае её динамика, в определенной степени отражала развитие научной коммуникации в мире.

Система *Web of Science Core Collection (WoS CC)* в настоящее время индексирует 165 российских журналов в трех основных указателях: *Science Citation Index-Expanded (SCI-E)*, *Social Science Citation Index*

(*SSCI*) и *Arts and Humanities Citation Index (A&HCI)*. Кроме того с 2015 г. в состав *Web of Science Core Collection* была введена новая БД *Emerging Sources Citation Index (ESCI)*, в которой индексируются 99 наименований российских научных журналов. В настоящей статье анализируется только публикационная активность и не рассматриваются показатели отечественной цитируемости, значения которой за последнее время (2012–2017 гг.) заметно улучшились. В табл. 1 приведены сведения, полученные при поиске в *SCI-E*, *SSCI*, *A&HCI*, *ESCI* и национальном индексе *Russian Science Citation Index (RSCI)*, расположенном с национальными индексами других стран на платформе *WoS*. Все национальные индексы не входят в состав *WoS CC*.

Наши данные показывают, что российские ученые ежегодно публикуют результаты исследований более чем в 4 тыс. журналов, но при этом демонстрируют крайне низкую цитируемость национального индекса *RSCI*. В табл. 1 показано, что в трех основных базах данных *Web of Science Core Collection* цитирование публикаций российских авторов превышает 66%, тогда как в базе данных *Russian Science Citation Index*, в которую отечественные авторы имеют широкий доступ, этот показатель менее 16%.

За прошедшие годы в системе научной коммуникации произошли изменения, к сожалению, негативные. Оценка научных достижений стала проводиться не самим научным сообществом, а государственными чиновниками, которые хотят убедиться, что бюджетные средства на фундаментальные исследования потрачены эффективно. Для этой цели параметры публикационной активности оказались крайне удобными – их легко посчитать и выдать за оценку развития науки. Поскольку между странами и внутри каждой из них между научными организациями идет соперничество и в этой области, публикационную активность стали стимулировать материальными и административными средствами. Ежедневно появляются журналы, которые за плату предлагают опубликовать статью с сомнительным обещанием, что она будет проиндексирована в самых престижных международных системах так называемого цитирования. Что касается содержания приглашаемых ими статей, то, видимо, не случайно эти журналы получили название «мусорных».

Таблица 1

Публикации российских авторов в *Web of Science* в 2016 г. (поиск 1.01.2019 г.)

БД <i>Web of Science</i>	Российские журналы/ журналы с публикациями российских авторов	Публикации российских авторов		
		Публикации	Процитированные публикации	Доля процитированных публикаций, %
SCI-E, SSCI, A&HCI	165/4284	41343	27441	66,36
ESCI	99/960	13601	4124	30,32
RSCI	619	41967	6625	15,79

Если прежде популярным был девиз: «Публикуй или погибнешь!», то теперь его можно перефразировать так: «Цитируй, если хочешь, чтобы на тебя ссылались!». Система научной коммуникации подверглась коррозии и всё меньше отражает состояние науки. Это начали понимать и руководители государства. На заседании Совета по науке и образованию Президент Российской Федерации В.В. Путин сказал: «Знаю, что далеко не все коллеги согласны с тем, что для фундаментальных исследований одним из ключевых показателей является количество научных публикаций в ведущих изданиях и индекс цитирования. Я, честно говоря, с этим тоже согласен, понимаю, очень много особенностей, и это самые разные сферы деятельности, кого-то хотят цитировать, кого-то сознательно не цитируют – это всё понятно, всё ясно. Но тогда нужно выработать, и я вас прошу это сделать, какие-то другие объективные критерии оценки результатов, основанные на репутационной ответственности и оценке профессионального сообщества. Ну а как? Нам нужны же какие-то способы оценки результатов работы? Это нужно сделать» [6].

Чтобы это сделать, нужна длительная работа. Дело в том, что вообще невозможно адекватно оценить однозначными численными показателями эффективность такого творческого труда, каким является научное исследование. Для этого нужно разработать комплекс наукометрических показателей отдельно для оценки эффективности работников и организаций в точных, естественных, общественных и гуманитарных дисциплинах фундаментальной и прикладной наук. Результаты оценки по этим показателям должны пройти общественную экспертизу, чтобы можно было получить внятное представление о научных достижениях той или иной страны. Но пока этого не сделано, приходится пользоваться имеющимися данными. Система *Web of Science*, разумеется, не очень пригодна для оценки публикационной активности России, поскольку она отражает эту активность, в основном, по мнению англоязычных ученых, которые все-таки не очень склонны ссылаться на работы наших исследователей даже в переводах на английский язык. Но данные этой системы, пока еще наименее искаженные негативными последствиями стимулирования данной деятельности, все же позволяют следить за ее развитием.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И ПАРАМЕТРЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Настоящая статья посвящена изучению динамики формальных характеристик публикационной активности российских ученых в трех основных областях знания:

- 1) естественные, точные и технические науки (ЕТТН)¹;
- 2) общественные науки (ОН);
- 3) гуманитарные науки (ГН).

В качестве исходных данных для анализа этих областей знания были использованы библиографиче-

ские базы данных *Web of Science (WoS)*: для ЕТТН – БД *Science Citation Index-Expanded (SCI-E)*, для ОН – БД *Social Science Citation Index (SSCI)*, а для ГН – БД *Arts and Humanities Citation Index (A&HCI)*. Кроме того применялась аналитическая БД *Journal Citation Reports (JCR)*.

Анализ потока публикаций охватывает период 1993-2017 гг. Данные представлены за каждый год в течение указанного периода. В качестве характеристик той или иной из указанных областей знаний (и соответственно – баз данных *WoS*), а также шести специально выделенных нами направлений исследований, перечисленных далее, использованы следующие показатели:

- ежегодное число публикаций (России, мирового потока);
- доля публикаций России и мирового потока по данному направлению исследований от общего числа таких публикаций в мировом потоке;
- место (ранг) России, которое она занимает по числу публикаций по данному направлению исследований среди других стран мира;
- доля публикаций России по данному направлению исследований от общего числа публикаций России;
- средний и средневзвешенный импакт-фактор (ИФ) заданного набора журналов.

РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

В табл. 2 приведены результаты анализа исходных данных. Рассмотрение этих результатов позволяет сделать несколько выводов. В частности, суммарная (за весь 25-летний период)² доля российских публикаций (ДРП) по всем трем базам данных от соответствующего массива мировых публикаций (включая российские) составляет 1,92%. Показатель ДРП для ЕТТН за этот период составил 2,28%. Соответствующий показатель для ОН оказался почти в пять раз меньше (0,46%), а для ГН – меньше в 6,7 раза (0,34%). Из данных в графах 8-10 табл. 2 видно, что в отдельные годы различия в значениях ДРП в разных областях знания несколько отличаются от этих данных. Тем не менее, они позволяют еще раз количественно оценить в какой мере справедливо распространенное мнение, согласно которому вклад отечественных исследований в мировую науку для различных областей знания существенно различается. Эти различия хорошо видны на рис. 1.

Прежде чем приступить к рассмотрению графика, приведенного на рис. 1, и аналогичных по типу графиков (называемых «Графиками с областями»), необходимо остановиться на особенностях графиков этого типа.

Во-первых, необходимость в применении графиков именно этого типа вызвана их важным преимуществом – возможностью представить на рисунке одновременно и в достаточно обозримом виде данные, характеризующие несколько объектов (в нашем

¹ В англоязычной литературе эти три области науки соответствуют термину «hard science».

² Отношение суммы, взятой по последней строке граф 5-7 (774161) табл. 2, к аналогичной сумме граф 2-4 (40280641)

случае это области знания и направления исследований) за ряд лет, причем для каждого года в отдельности. Если же прибегнуть к другим типам графиков, например графикам типа «Гистограмма», то общая картина на таком графике оказывается достаточно сложной для восприятия, что в свою очередь, будет препятствовать осуществлению надежного анализа приведенных на графике данных.

Во-вторых, следует иметь в виду, что каждому значению на оси абсцисс для данного объекта на таком графике соответствует разность значений ординат (а не их абсолютные значения). Если подходить не столь формально, то визуальное значение показателя для данного объекта соответствует «толщине» фигуры, представляющей этот объект (фигура с одинаковой штриховкой) в заданном году.

И приведенные данные, и непосредственное визуальное рассмотрение графика на рис. 1, а также анализ данных табл. 2 еще раз подтверждают, что наибольший вклад по доле публикаций в мировую науку на протяжении всех 25 лет Россия вносила в исследования по естественным, точным и техническим наукам. Результаты элементарной обработки этих данных сведены в табл. 3, где помимо значений ДРП для каждой из трех областей знания в начале и конце исследуемого периода (1993 г. и 2017 г. соответственно), приведены минимальные и максимальные значения ДРП, а также средние и средневзвешенные значения этого показателя, вычисленные за этот период.

Кроме того, табл. 3 содержит значения отношений упомянутых выше вариантов показателя ДРП для ЕТТН к соответствующим вариантам показателя ДРП для ОН, а также для соответствующих вариантов показателя ДРП для ГН. Как следует из граф 5 и 6 табл. 2 значения этих отношений находится в ин-

тервале 2,29–12,54. Для нас наибольший интерес представляют значения отношений, соответствующих средневзвешенной ДРП. Дело в том, что средневзвешенное значение ДРП можно рассматривать как некоторый интегральный (обобщающий) показатель вклада России в мировой поток публикаций по тематике той или иной из рассматриваемых областей знания. Для этого показателя значение отношения ЕТТН/ОН равно 4,96, а значение отношения ЕТТН/ГН – 6,71.

Таким образом, можно утверждать, что вклад России в мировой поток публикаций по естественным, точным и техническим наукам примерно в пять раз превышает аналогичную характеристику для общественных наук, и не менее чем в шесть раз больше значения этой характеристики для гуманитарных наук. Динамика ДРП в случае ЕТТН после 1993 г. в течение следующих 20 лет обнаруживает устойчивую тенденцию к снижению: в 1993 г. доля российских публикаций в БД *SCI-E* составляла 3,28%, тогда как в 2014 г. – 1,8% (графа 8 табл. 2). В случае общественных наук ситуация в значительной степени аналогична: ДРП в базе данных *SSCI* в 1993 г. составляла 0,7%, а в 2015 г. только 0,4%. И только после 2015 г. тенденция меняется на противоположную: в 2017 г. показатель ДРП равен: 2,06% и 0,6% (*SCI-E* и *SSCI* соответственно). Ситуация в случае гуманитарных наук существенно иная: падение ДРП закончилось уже в 2008 г., а в 2009 г. этот показатель возвращается к значению 1993 г. В 2010–2015 гг. доля российских публикаций в БД *A&HCI* составляет 0,4%, т.е. несколько превысила значение 1993 г. В последние годы наблюдается резкий рост и в 2017 г. этот показатель составил 0,9%, т.е. в три раза превысил значение 1993 г.

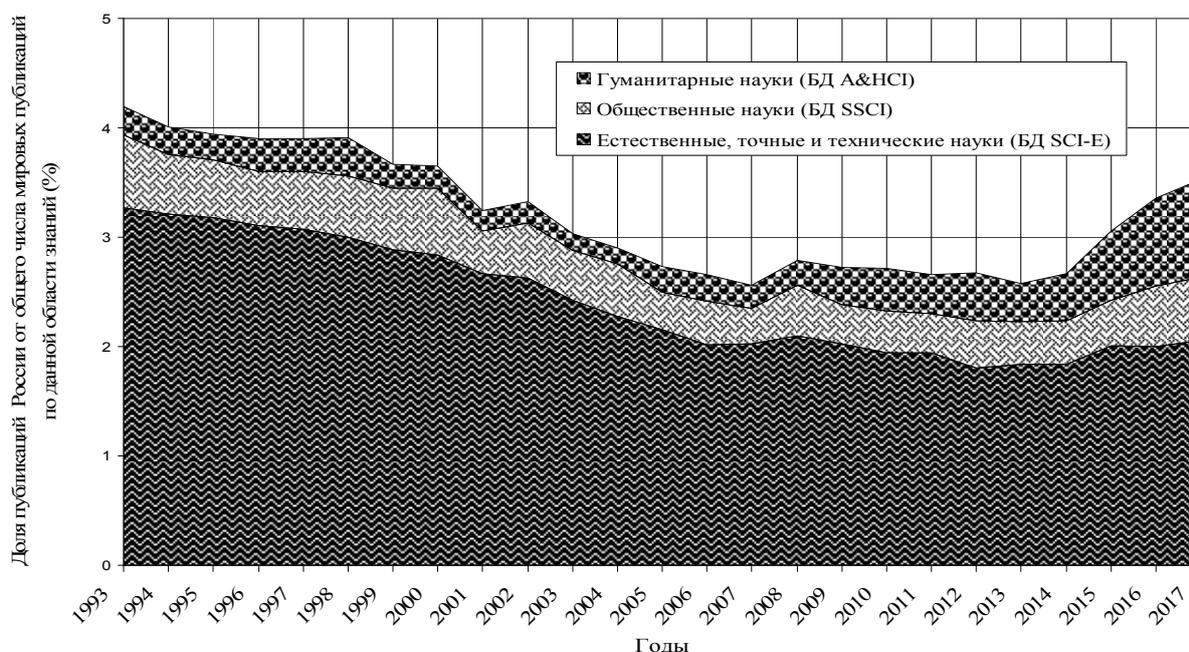


Рис. 1. Динамика вклада России в общемировой поток публикаций по трем областям знания³

³ По сути, здесь ось ординат представляет собой только шкалу для вычисления значений этого показателя, а само значение показателя для той или иной области знаний в заданной точке на оси абсцисс (заданному году) равно разности тех значений ординаты, которые соответствуют такому году.

Российские и мировые публикации, зарегистрированные в рассматриваемых базах данных Web of Science

1	Мировой поток публикаций			Россия			Российские публикации в мировом потоке (ДРП), %			Публикации каждой БД в суммарном числе российских публикаций во всех трех БД, %			Отношение числа публикаций каждого года к 1993 г.					
													Мир в целом			Россия		
	SCI-E	SSCI	A&HCI	SCI	SSCI	A&HCI	SCI-E	SSCI	A&HCI	SCI-E	SSCI	A&HCI	SCI-E	SSCI	A&HCI	SCI-E	SSCI	A&HCI
1993	766705	127164	113027	25030	853	292	3,28	0,7	0,3	95,6	3,3	1,1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1994	806303	131288	116722	25881	720	288	3,2	0,5	0,2	96,3	2,7	1,1	1,05	1,03	1,03	1,03	0,84	0,99
1995	864593	142923	118107	27488	756	274	3,2	0,5	0,2	96,4	2,7	1,0	1,13	1,12	1,04	1,10	0,89	0,94
1996	908890	148641	120766	28210	735	363	3,1	0,5	0,3	96,3	2,5	1,2	1,19	1,17	1,07	1,13	0,86	1,24
1997	943867	144904	116491	28995	766	352	3,1	0,5	0,3	96,3	2,5	1,2	1,23	1,14	1,03	1,16	0,90	1,21
1998	951553	142662	114068	28529	802	396	3,0	0,6	0,3	96,0	2,7	1,3	1,24	1,12	1,01	1,14	0,94	1,36
1999	979970	145224	114070	28258	815	249	2,9	0,6	0,2	96,4	2,8	0,8	1,28	1,14	1,01	1,13	0,96	0,85
2000	991467	153355	114463	28131	940	231	2,8	0,6	0,2	96,0	3,2	0,8	1,29	1,21	1,01	1,12	1,10	0,79
2001	986418	144257	111601	26324	564	206	2,7	0,4	0,2	97,2	2,1	0,8	1,29	1,13	0,99	1,05	0,66	0,71
2002	1034595	142145	112038	27183	716	221	2,6	0,5	0,2	96,7	2,5	0,8	1,35	1,12	0,99	1,09	0,84	0,76
2003	1082925	146485	103052	26204	673	162	2,4	0,5	0,2	96,9	2,5	0,6	1,41	1,15	0,91	1,05	0,79	0,55
2004	1169929	151291	95466	26641	719	141	2,3	0,5	0,1	96,9	2,6	0,5	1,53	1,19	0,84	1,06	0,84	0,48
2005	1240196	158034	105829	26670	541	251	2,2	0,3	0,2	97,1	2,0	0,9	1,62	1,24	0,94	1,07	0,63	0,86
2006	1295584	166558	108665	26111	660	266	2,0	0,4	0,2	96,6	2,4	1,0	1,69	1,31	0,96	1,04	0,77	0,91
2007	1360697	181641	110226	27546	589	238	2,0	0,3	0,2	97,1	2,1	0,8	1,77	1,43	0,98	1,10	0,69	0,82
2008	1415089	213661	120250	29679	990	278	2,1	0,5	0,2	95,9	3,2	0,9	1,85	1,68	1,06	1,19	1,16	0,95
2009	1488058	226663	126846	30152	805	439	2,0	0,4	0,3	96,0	2,6	1,4	1,94	1,78	1,12	1,20	0,94	1,50
2010	1521010	242867	123518	29533	932	482	1,9	0,4	0,4	95,4	3,0	1,6	1,98	1,91	1,09	1,18	1,09	1,65
2011	1601243	256208	124806	31065	930	439	1,9	0,4	0,4	95,8	2,9	1,4	2,09	2,01	1,10	1,24	1,09	1,50
2012	1677573	271669	120562	30213	1186	525	1,8	0,4	0,4	94,6	3,7	1,6	2,19	2,14	1,07	1,21	1,39	1,80
2013	1772788	277133	121932	32726	1076	428	1,8	0,4	0,4	95,6	3,1	1,3	2,31	2,18	1,08	1,31	1,26	1,47
2014	1827016	280755	123991	33681	1097	540	1,8	0,4	0,4	95,4	3,1	1,5	2,38	2,21	1,10	1,35	1,29	1,85
2015	1876525	293388	124240	37676	1220	786	2,02	0,4	0,6	94,9	3,1	2,0	2,45	2,31	1,10	1,51	1,43	2,69
2016	1939967	313219	121993	39084	1741	977	2,04	0,6	0,8	93,5	4,2	2,3	2,53	2,46	1,08	1,56	2,04	3,35
2017	1950951	324571	117294	40574	1863	1064	2,06	0,6	0,9	93,3	4,3	2,4	2,54	2,55	1,04	1,62	2,18	3,64

Таблица 3

Сравнительные значения модификаций показателя «Доля российских публикаций от соответствующего мирового потока» (показатель ДРП)

Значения	Доля российских публикаций (ДРП), %			Отношение ДРП для ЕТГН к ДРП	
	для ЕТГН*	для ОН**	для ГН***	для ОН	для ГН
1	2	3	4	5	6
В 1993 г.	3,26	0,67	0,26	4,87	12,54
В 2017 г.	2,06	0,57	0,90	3,61	2,29
Минимальное за период 1993-2017 гг.	1,80	0,32	0,15	5,63	12,00
Максимальное за период 1993-2017 гг.	3,26	0,67	0,90	3,37	3,62
Среднее за период 1993-2017 гг.	2,41	0,47	0,33	5,13	7,30
Средневзвешенное за период 1993-2017 гг.	2,28	0,46	0,34	4,96	6,71

* Естественные, точные и технические науки

** Общественные науки

*** Гуманитарные науки.

Важно подчеркнуть, что и падение, и рост доли российских публикаций происходит, как правило, на фоне увеличения ежегодного числа российских публикаций (графы 5-7 табл. 2). Рассмотрим, насколько этот факт является реальным противоречием. Введем показатель k_{rep} , который представляет собой отношение ежегодного числа публикаций в данном (текущем) году к числу публикаций, которое соответствует 1993 г. (в данном случае 1993 г. играет роль реперного). Вычисление показателя k_{rep} осуществляется по следующей простой формуле:

$$k_{rep} = \frac{N_i}{N_{rep}} \quad (1)$$

где:

i – текущий год

N_i – число публикаций в текущем году;

N_{rep} – число публикаций в исходном (базовом, реперном) году.

Сравним значения этого показателя для российских публикаций – с одной стороны, и для мирового потока – с другой (графы 17-19 и 14-16, соответственно, табл. 2). И в случае *SCI-E* и в случае *SSCI* – значения k_{rep} для российских публикаций, как правило, заметно меньше значений, соответствующих мировому потоку. Так, для 2017 г. в случае БД *SCI-E* для российских публикаций $k_{rep} = 1,62$, тогда как для мирового потока $k_{rep} = 2,54$. В случае БД *SSCI* значения показателя k_{rep} равно 1,18 и 2,55 соответственно. В случае гуманитарных наук (БД *A&HCI*) ситуация обратная: k_{rep} равно 3,64 и 1,04 соответственно. Таким образом, отмеченное выше противоречие в действительности является только кажущимся: просто темпы роста российских публикаций в целом существенно отстают от темпов роста мирового потока (за исключением гуманитарных наук).

Можно предложить еще один показатель, позволяющий сопоставлять темпы роста числа публикаций: среднее ежегодное приращение (изменение) числа публикаций. Обозначим его через k_{aver} и выразим в процентах (%). Этот показатель позволяет увидеть на сколько процентов в среднем ежегодно увеличивается (точнее – изменяется) годовое число публикаций N_i в текущем i -м году по отношению к числу публикаций N_{i-1} в предшествующем $i-1$ году.

$$k_{aver} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{N_i}{N_{i-1}}}{n-1} * 100 \quad (2)$$

где:

n – общее количество лет наблюдения (в данном случае $n = 25$)

N_i – как и в формуле (1) представляет собой число публикаций в i -м году, в данном случае $i_1 = 1993$ г.

Полученные в результате вычислений по формуле (2) значения показателя k_{cur} еще более убедительно показывают, что отмеченное выше противоречие является только кажущимся. Так, в случае *SCI-E* $k_{cur} = 6,42\%$, тогда как для российских публикаций – только 2,58%. В случае *SSCI* k_{cur} равно 6,46% и 4,92% соответственно, т.е. темпы ежегодного приращения российских публикаций для *SCI-E* и *SSCI* существенно ниже мировых. Однако в случае *A&HCI* российские темпы многократно превышают мировые: для мирового потока $k_{cur} = 0,17\%$, а в случае российских публикаций $k_{cur} = 11,0\%$.

Заканчивая анализ с использованием показателя k_{aver} , отметим, что если принять в качестве i_1 не 1993 г., а 2013 г., то окажется, что темпы ежегодного увеличения числа публикаций российских ученых на отрезке 2013-2017 гг. не только не уступают мировым, но и значительно превосходят их. Действительно, для БД *SCI-E* в случае мирового потока $k_{aver} = 5,3\%$, для России $k_{aver} = 9,3\%$; БД *SSCI* – мировой поток $k_{aver} = 8,3\%$, для России $k_{aver} = 29,7\%$; БД *A&HCI* – мировой поток $k_{aver} = -2\%$ (отрицательное значение), для России $k_{aver} = 63\%$. Конечно, к последним данным следует относиться с осторожностью, так как они получены на достаточно ограниченном интервале (2013-2017 гг.).

Одновременно со снижением доли российских публикаций снижается и рейтинг нашей страны (место, ранг – R). Так, по числу публикаций по естественным, точным и техническим наукам (БД *SCI-E*) в 1993 г. Россия занимала 8-е место ($R=8$, ДРП – 3,26%), в 2000 г. – 9-е ($R=9$, ДРП – 2,84%), в 2006 г. – 14-е ($R=14$, ДРП – 2,02%), в 2012 г. – 16-е ($R=16$, ДРП – 1,8%). И только после 2014 г. Россия поднимается с 16-го на 15-е место. Аналогичная ситуация для нашей страны и в случае общественных наук (БД *SSCI*): с 13-го места в 1993 г. Россия в 2017 г. переместилась на 34-е. И только в случае гуманитарных наук (БД *A&HCI*) после длительного снижения рейтинга России (в 1993 г. $R=12$, в 2012 г. $R=21$) наметился достаточно резкий подъем. Уже в 2015 г. наша страна вернулась на то же место, что и в 1993 г. ($R=12$, ДРП=2,02%). При этом, несмотря на очень существенное увеличение числа российских публикаций в 2017 г., а также некоторый рост их доли по сравнению с 2015 г., рейтинг России не изменился ($R=12$, ДРП=2,06%).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ НАПРАВЛЕНИЙ

Мы рассмотрели в самом общем виде вклад России в мировой поток научных публикаций в каждой из трех областей фундаментальных исследований: общественные, точные и технические науки (ЕТТН); общественные науки (ОН); гуманитарные науки (ГН). Далее попытаемся проанализировать вклад России в более специализированные направления фундаментальных исследований. С этой целью мы сформировали шесть направлений исследований: (1) «Физические науки» (ФН); (2) «Науки о жизни и

медицина» (НЖМ); (3) «Экономика и бизнес» (ЭБ); (4) «Социология и демография» (СД); (5) «Исторические науки» (ИН); (6) «Лингвистика и литература» (ЛЛ). Направления (1) и (2) являются «представителями» естественных, точных и технических наук, (3) и (4) – представляют общественные науки, а (5) и (6) – гуманитарные науки. Формирование этих направлений и поиск соответствующих публикаций осуществлялось на основе тематической классификации, принятой в *WoS* (тематические категории *WoS*). Напомним, что каждой публикации в *WoS* присваивается хотя бы одна категория, которая «прописана» в поле *WC* соответствующей БД *WoS*.

Кратко объясним выбор указанных направлений. В советских естественнонаучных исследованиях (по известным причинам) основной упор делался на исследования в области физики, химии и смежных с ними дисциплин, что в значительной мере происходило за счет исследований в области биологии и медицины. Российская наука, являясь наследницей советской науки, по крайней мере, в первые постсоветские годы сохраняла этот дисбаланс: известно, что с точки зрения тематической структуры наука – достаточно инерционна.

Наш выбор для анализа первых двух направлений (НМЖ и ФН) продиктован, прежде всего, желанием понять в какой степени удалось преодолеть указанный дисбаланс. Советские исследования по экономике, как и по социологии, нередко исходили из тех идеологических, а, следовательно – и методологических установок и догм, которые в той или иной мере тормозили развитие научной мысли. В конечном итоге это должно было привести к отставанию России в этих областях. В настоящей работе предпринимается попытка понять, преодолено ли и в какой степени указанное отставание. Аналогичными соображениями объясняется и выбор направлений «Исторические науки» и «Лингвистика и литература».

В состав направления НЖМ была включена каждая из тех категорий *WoS*, англоязычное название которой удовлетворяет одному из условий: содержит фрагмент «*bio*» или какой-либо биологический термин, или включает название какого-либо раздела биологических наук, или содержит название одного из разделов медицины, или какой-либо медицинский термин. Таким условиям удовлетворяют 89 из 256 категорий *WoS*, т.е. более трети из их общего числа⁴. На основании отобранных 89 категорий *WoS* в БД *SCI-E* был осуществлен поиск публикаций по тематике «Науки о жизни и медицина». В соответствии с требованиями интерфейса *WoS* с этой целью был составлен формальный запрос⁵.

⁴ Как показало дальнейшее исследование, направлению «Науки о жизни и медицина» соответствуют более 50% всех публикаций, представленных в БД *WoS SCI-E*.

⁵ Запрос выглядел следующим образом: *WC*=(*Allergy* OR *Anatomy* OR *Andrology* OR *Anesthesiology* OR *Anthropology* OR *Bio* OR *Cardiac* OR *Cell* OR *Clinical* OR *Medic* OR *Dermatol* OR *Cri*Medic* OR *Dev*Bio* OR *E*Bio* OR *Gastro* OR *Genetic* OR *Health* OR *Hematol* OR *Immuno* OR *Int*Medic* OR *Medic* OR *M*bio* OR *Neuro* OR *Nursin* OR *Nutrition* OR *O*Gynecol* OR *Oncol* OR *Orthoped* OR

Аналогично были сформированы и остальные пять направлений. Так, для формирования направления ФН были использованы 10 категорий, в название которых входит фрагмент «*physics*», а также еще пять категорий *WoS*: *Acoustics*; *Crystallography*; *Nanoscience* & *Nanotechnology*; *Chemistry Physical*⁶; *Spectroscopy*⁷ (итого 15 категорий *WoS*). В состав направления ЭБ включены пять категорий: *Business*; *Finance*; *Economics*; *Industrial Relations* & *Labor*; *Management*⁸. В направление СД включены семь категорий: *Sociology*; *Social Sciences*, *Interdisciplinary*; *Social Issues*; *Social Sciences*, *Mathematical Methods*; *Social Work*; *Psychology*, *Social*; *Demography*⁹. В состав направления ИН включены четыре категории: *Archaeology*; *History*; *History & Philosophy of Science*; *History of Social Sciences*¹⁰. При поиске публикаций по направлению ЛЛ были использованы те категории *WoS*, в название которых входит либо слово «*Literature*», либо слово «*Linguistics*», либо слово «*Language*», а также категории *Folklore* и *Poetry* (всего 12 категорий¹¹). Анализ полученных обширных данных, которые мы можем здесь привести лишь конспективно из-за большого их объема, показал следующее.

«Науки о жизни и медицина» (НЖМ – является одним из направлений ЕТТН). Доля мировых публикаций (от общего числа публикаций в БД *SCI-E*) по этому направлению на протяжении всего 25-летнего периода находится в пределах 50,7–54,8% и практически не обнаруживает тенденции к заметным изменениям (51,7% в 1993 г. и 50,7% – в 2017 г.). Аналогичный показатель для России, напротив, на протяжении всего исследуемого периода неизменно рос: 19,4% в 1993 г. и 24,3% – в 2017 г. Несмотря на

OR "Otorhinolar*" OR "Parasit*" OR "Pediatric*" OR "P*Vasc*Disease*" OR "Pharma*" OR "Psych*" OR "R*Bio*" OR "R*Bio*" OR "Rheumatol*" OR "S*Bio*" OR "Su*Abuse*" OR "Surgery*" OR "Toxicol*" OR "Transplantat*" OR "T*Medic*" OR "Urology*" OR "Veterinar*" OR "Virolog*" OR "Zoolog*" OR "E*Medic*" OR "Endocrin*" OR "Endocrin*" OR "I*Diseas*" OR "Ornithol*" OR "Pathol*" OR "Physiolog*" OR "Pl*Scien*" OR "Pr*Hea*Care*" "R*Medic*") AND PY=1993-2017. Здесь «*WC*» – поле содержащее значение (название) тематической категории *WoS*, а «*PY*» – год опубликования.

⁶ Эта категории была включена в направление «Физические науки», поскольку в исследованиях по физхимии в значительной степени используется физический инструментарий, а сама физхимия находится на стыке химии и физики.

⁷ Запрос выглядел следующим образом: *WC*=(*Acoustic* OR *Astronom* OR *Ch*Phys* OR *Crystallog* OR *Geochem*Geophys* OR *Nano* OR *Physics* OR *Spectroscop*) AND PY=1993-2017

⁸ Соответствующий запрос: *WC*=(*Business* OR *Economic* OR *Industrial Relations* OR *Management*) AND PY=1993-2017

⁹ Соответствующий запрос: *WC*=(*Soci*I* OR *Demography*) AND PY=1993-2017

¹⁰ Соответствующий запрос: *WC*=(*History* OR *Archaeology*) AND PY=1993-2017

¹¹ Соответствующий запрос: *WC*=(*Linguistics* OR *Language* OR *Litera* OR *Poetry* OR *Folklore*) AND PY=1993-2017

это и на увеличение более чем в два раза (4857 в 1993 г. и 9870 в 2017 г.) количества российских публикаций по НЖМ, доля России в мировом потоке в этом направлении продолжает падать (с 1,22% в 1993 г. до 0,99% в 2017 г.). Понятно, что в такой ситуации Россия в мировом рейтинге в этом направлении исследований опустилась с 14-го места в 1993 г. на 25-е в 2017 г. Таким образом, приходится констатировать, что темпы роста числа российских публикаций, рассчитанные с учетом всего 25-летнего периода, были недостаточными (для России $k_{rep} = 2,0$, тогда как для мирового потока по этому направлению $k_{rep} = 2,5$, и соответственно $k_{aver} = 4,1\%$ и $k_{aver} = 6,5\%$). Следует отметить, что после 2013 г. наметилось увеличение темпов роста российских публикаций по этому направлению ($k_{aver} = 7,5\%$). На рис. 2 можно видеть, что исследованиям по направлению «Науки о жизни и медицина» в России уделяется значительно меньшее внимание, чем в среднем по миру. Так, максимальное значение этого показателя для России равно 25,1%, тогда как для мирового потока даже минимальное значение составляет 50,7%.

«Физические науки» (ФН – является одним из направлений ЕТН). В отличие от предыдущего направления, ФН характеризуется снижением доли мировых публикаций по этому направлению от общего числа публикаций в БД *SCI-E* (с 12,6% в 1993 г. до 10,0% в 2017 г.). Аналогичный показатель в случае России в период 1993-2011 гг. увеличился с 31,1% до 37,1%. Однако в дальнейшем этот показатель снижился и в 2017 г. оказался даже несколько меньше, чем в 1993 г. (30,3%). Ежегодное число российских публикаций по направлению ФН, начиная с 1994 г.,

стало быстро расти и в 2017 г. составило 12281 документ против 7786 в 1993 г. Однако этот рост уступает соответствующему общемировому. Действительно, значения и k_{rep} , и k_{aver} для России почти в два раза ниже, чем для мира в целом (Россия – $k_{rep} = 0,6$, мир в целом – $k_{rep} = 1,1$; Россия – $k_{aver} = 2,45\%$, мир в целом – $k_{aver} = 4,47\%$). Динамику вклада публикаций по этому направлению в общее число российских публикаций по ЕТН можно проследить на графике на рис. 3. Что касается положения России по числу публикаций среди стран мира, то она опустилась с 4-го на 8-е место.

Экономика и бизнес (ЭБ – является одним из направлений ОН). Доля мировых публикаций в БД *SSCI* по этому направлению в период 1993-2017 гг. находится в пределах 14,0–16,7% и практически не обнаруживает тенденции к заметным изменениям (14,8% в 1993 г. и 14,4% – в 2017 г.). Аналогичный показатель для России, напротив, вплоть до 2014 г. заметно увеличивался (9,5% в 1993 г. и 17,7% – в 2014 г.). Затем началось небольшое падение, и в 2017 г. этот показатель был равен 15,8%. Ежегодное число российских публикаций в 2017 г. по сравнению с 1993 г. увеличилось в 3,6 раза (81 в 1993 г. и 295 в 2017 г.). Тем не менее, доля России в этом направлении по-прежнему невелика, хотя и возросла с 0,43% в 1993 г. до 0,63% в 2017 г. Общее представление о динамике доли публикаций по этому направлению от общего числа российских публикаций по общественным наукам дает график на рис. 3. Россия в мировом рейтинге в этом направлении по числу публикаций опустилась с 16-го места в 1993 г. на 38-е в 2017 г.

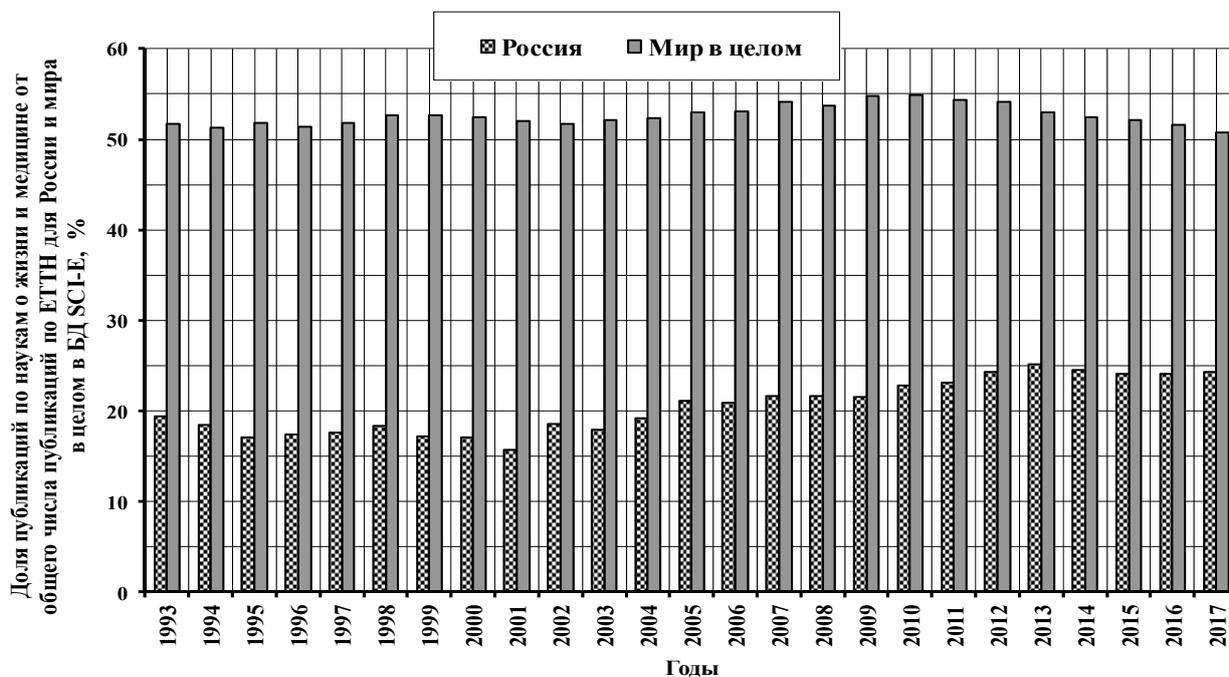


Рис. 2. Динамика доли ежегодного числа публикаций по наукам о жизни и медицине в общем ежегодном числе публикаций по естественным, точным и техническим наукам: сопоставление России и мира в целом (БД *SCI-E*, 1993-2017 гг.)

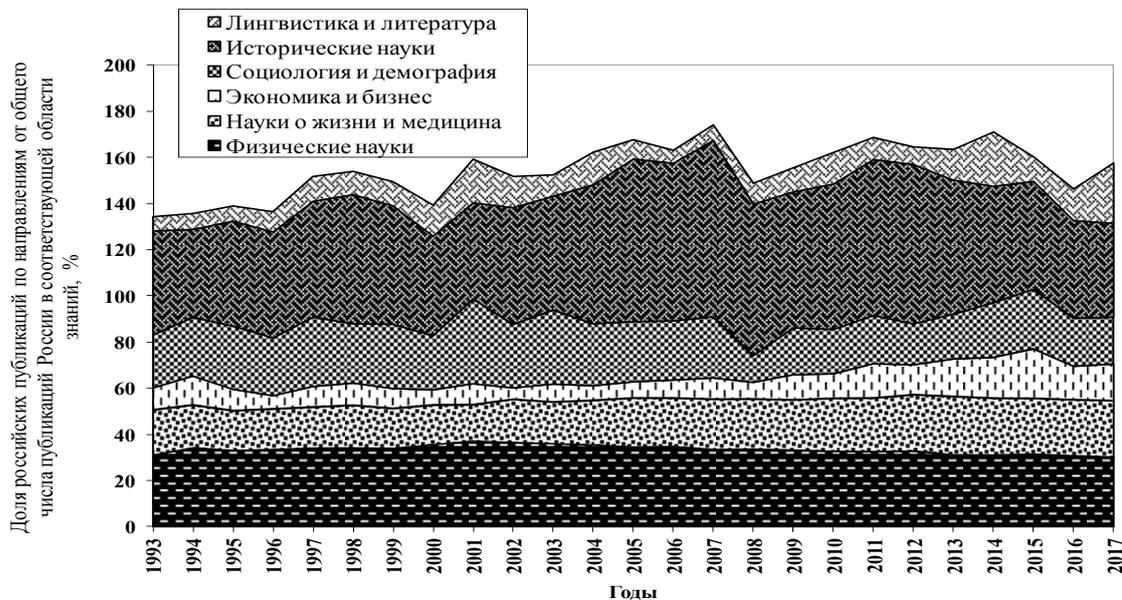


Рис. 3. Динамика доли российских публикаций по направлениям в общем числе публикаций России по соответствующим областям знания, %

«Социология и демография» (СД – является одним из направлений ОН). Доля мировых публикаций в БД *SSCI* по этому направлению на протяжении всего 25-летнего периода снижается (15,8% в 1993 г. и 10,1% – в 2017 г.). Аналогичный показатель для России, т.е. доля российских публикаций по социологии и демографии от общего числа российских публикаций в БД *SSCI*, недостаточно устойчива. Тем не менее, в целом, обнаруживается слабая тенденция к ее снижению: 23,0% в 1993 г. и 20,2% – в 2017 г. Следует сказать, что, несмотря на увеличение почти в два раза числа российских публикаций по СД (196 в 1993 г. и 377 в 2017 г.), доля России в этом направлении увеличилась незначительно (с 0,97% в 1993 г. до 1,15% в 2017 г.).

Общее представление о динамике доли публикаций по этому направлению от общего числа российских публикаций по общественным наукам дает график на рис. 3. По числу публикаций по направлению СД Россия в мировом рейтинге опустилась с 8-го места в 1993 г. на 28-е в 2013 г. Затем этот рейтинг начал расти и в 2017 г. Россия занимает 19 место.

«Исторические науки» (ИН – является одним из направлений ГН). Доля мировых публикаций (от общего числа публикаций в БД *A&HCI*) по направлению ИН на протяжении всего рассматриваемого периода растет (20,6% в 1993 г. и 24,1% – в 2017 г.). Что касается России, то это направление является самым крупным среди остальных направлений российских исследований в области гуманитарных наук. В 1993 г. доля публикаций по ИН от общего числа российских публикаций в БД *A&HCI* составляла 45,2%. В отдельные годы этот показатель превышает 50%, а в 2007 г. он был равен 76,5%. После 2007 г. значения указанного показателя постепенно снижаются и в 2017 г. он был равен 40,8% (см. рис. 3). В 2017 г. Россия по числу публикаций по историческим наукам оказалась на 10-м месте (в 1993 г. – на 8-м).

«Литература и лингвистика» (ЛЛ – является одним из направлений ГН). Доля мировых публикаций (от общего числа публикаций в БД *A&HCI*) по направлению ЛЛ на протяжении всего 25-летнего периода обнаруживает заметную тенденцию к снижению (28,6% в 1993 г. и 25,2% – в 2017 г.). Однако, этот показатель для России, напротив, вырос более чем в 4 раза: 6,2% – в 1993 г. и 26,1% – в 2017 г. Это обстоятельство, вызвано 12-кратным увеличением числа российских публикаций по ЛЛ (18 в 1993 г. и 218 в 2017 г.). Это в свою очередь привело к тому, что доля публикаций России в мировом потоке по ЛЛ резко увеличилась (0,06% в 1993 г. и 0,93% в 2017 г.). Представление о динамике этого показателя дает график на рис. 3. В мировом рейтинге в исследованиях по направлению «Литература и лингвистика» Россия по её доле в числе мировых публикаций поднялась с 29-го места в 1993 г. на 15-е в 2017 г.

На рис. 4 представлена динамика показателя ДРП для каждого из шести рассматриваемых направлений исследований. Направления «Науки о жизни и медицине» и «Физические науки» (напомним, что оба эти направления относятся к естественным, точным и техническим наукам) характеризуются падением значений показателя ДРП. Для первого из этих направлений падение не столь значительно как для второго: «Науки о жизни и медицине» – с 1,22% в 1993 г. до 0,99% в 2017 г., «Физические науки» – с 8,06% в 1993 г. до 6,22% в 2017 г. В направлениях «Экономика и бизнес» и «Социология и демография», (оба эти направления относятся к общественным наукам), напротив, наблюдается обратный процесс. Правда, для направления «Экономика и бизнес» рост ДРП очень незначителен (0,43% и 0,47% соответственно), тогда как для направления «Социология и демография» этот рост более заметный (0,97% и 1,15%). Что касается остальных двух направлений, относящихся к гуманитарным наукам, то здесь рост

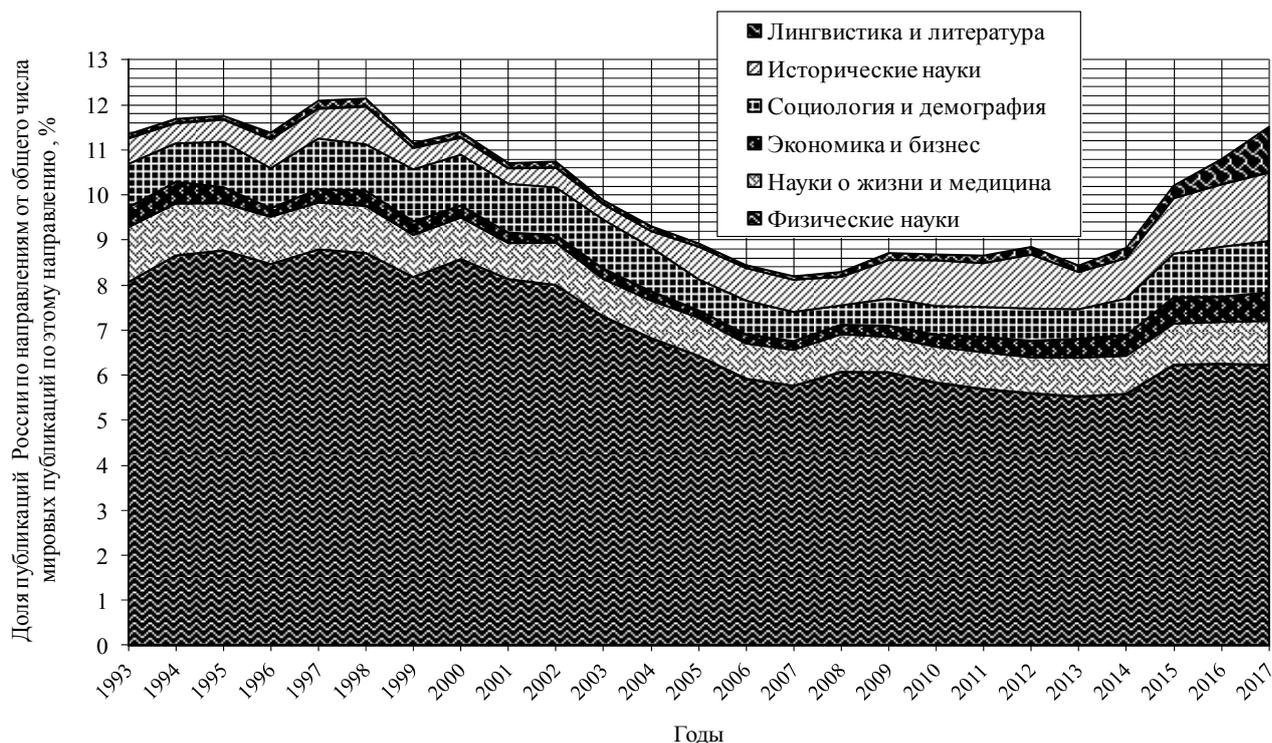


Рис. 4. Динамика вклада России в шесть направлений мировых исследований: отношение числа публикаций России к соответствующему мировому потоку, %.

более чем существенен: для направления «Исторические науки» ДРП увеличился почти в 3 раза (0,57% и 1,52%), а направление «Лингвистика и литература» характеризуется 15-и кратным ростом ДРП (0,06% и 0,93%). Следует сказать, что такой рост объясняется не только ростом числа публикаций, но и тем, что число публикаций в исходном (реперном) году было очень невелико – 18 статей. Необходимо отметить, что на рост ДРП для этих двух направлений очень существенное влияние оказали также процессы, протекающие в соответствующих мировых потоках. Так, число публикаций по направлению «Исторические науки» росло очень медленно (23267 в 1993 г. и 28557 в 2017 г.), а по направлению «Лингвистика и литература» это число даже снижалось (32386 в 1993 г. и 29819 в 2017 г.).

При анализе публикационной активности российских ученых в каждой из рассмотренных трех областей знания и в шести направлениях исследований был использован ряд показателей:

- абсолютная численность российских публикаций;
- их доля в соответствующих мировых публикациях (ДРП);
- темп прироста ежегодного числа публикаций (показатели k_{rep} и k_{aver});
- место (ранг – R) России по отношению к другим странам.

Поскольку исходные данные для расчета указанных показателей одни и те же, то и их значения

должны быть взаимно согласованы. Однако применение этих показателей показывает, что эта согласованность носит не функциональный, а, скорее, корреляционный характер. Это также значит, что для получения надежных результатов при количественном анализе публикационной активности необходимо пользоваться рядом показателей, в частности теми, которые были приведены и использованы в нашем исследовании.

АНАЛИЗ КАЧЕСТВА ЖУРНАЛОВ, ИНДЕКСИРУЕМЫХ В БД *Web of Science*

Мы рассмотрели публикационную активность российских ученых, используя показатели, которые можно назвать индикаторами масштабности (массовости) вклада той или иной страны в мировой поток научных публикаций. Теперь рассмотрим показатели, которые, пусть косвенно, но все же, дают возможность оценить качество этого вклада. С этой целью используем один из классических библиометрических показателей – двухлетний импакт-фактор (ИФ) журналов, представленный в *Journal Citation Reports – Science Edition (JCR-SE)*. Эта аналитическая база данных расположена на платформе *WoS*, публикуется ежегодно, соответствует, в основном, естественным, точным и техническим наукам и содержит данные, характеризующие каждый из журналов, представленных в ней. При подготовке очередного ежегодного выпуска *JCR-SE* используется исходная информация о публикациях и журналах за предшествующий

год, поэтому все рассматриваемые здесь данные приводятся со сдвигом в один год. Это значит, что значения, приведенные на графике, например, для 2006 г., получены с использованием *JCR-SE* за следующий, 2007 г., данные для 2007 г. – с использованием *JCR-SE* за 2008 г. и т.д. Мы попытаемся, используя значения ИФ и некоторые дополнительные данные, оценить качество (формальный научный уровень) всего массива российских публикаций за тот или иной год, а также сравнить этот уровень с мировым научным уровнем. Для такой обобщенной оценки мы использовали несколько модификаций классического импакт-фактора, описание которых приведены в пунктах *a–k*, а соответствующие значения этих показателей содержатся в табл. 4 и на рис. 5.

a. Средний ИФ набора журналов представляет собой среднее значение поля *Journal Impact Factor* в очередном выпуске *JCR-SE*, вычисленное для заданного набора журналов. Набор журналов может содержать как все журналы, так и журналы заданной страны (поле *REGION*). В нашем случае это журналы России.

b. Средневзвешенный ИФ для случая «все статьи во всех журналах мира» (графа 4 табл. 4) – вычисляется аналогично пункту (*a*), но с учетом «веса» каждого журнала. Под «весом журнала» понимается значение, содержащееся в поле *Citable Items* соответствующего выпуска *JCR-SE*. Это значение соответствует количеству той части опубликованных в данном журнале работ, которые были учтены при подготовке очередного выпуска *JCR-SE* (как правило, это статьи и обзоры; их доля обычно находится в пределах 75-90% от общего числа публикаций в данном журнале).

c. Средневзвешенный ИФ для случая «все статьи в журналах России» (графа 5, табл. 4) – вычисляется аналогично пункту (*b*), но при этом учитываются данные, которые соответствуют только журналам России.

d. Средневзвешенный ИФ для случая «российские статьи во всех журналах мира» (графа 6, табл. 4) – рассчитывается аналогично пункту (*b*), но при этом имеются существенные различия: под «весом журнала» здесь понимается число только публикаций (вне зависимости от их типа) с участием *хотя бы одного российского автора* в конкретном году в данном журнале и при условии, что журнал представлен в этом выпуске *JCR-SE*. Число таких публикаций было получено не из *JCR-SE*, а с использованием соответствующим образом обработанных данных из БД SCI-E.

e. Средневзвешенный ИФ для случая «только российские статьи в журналах России» (графа 7, табл. 4) – рассчитывается аналогично пункту (*d*). При этом учитываются только те данные, которые соответствуют только журналам России.

f. Доля всех (мировых) статей в журналах России (графа 8, табл. 4) представляет собой отношение суммы значений поля «Citable Items» соответствующего выпуска *JCR-SE* в журналах России, к общей сумме значений этого поля (%).

g. Доля журналов России (от числа всех журналов мира) (графа 9, табл. 4) – представляет собой отношение (в %) числа журналов России в данном выпуске *JCR-SE* к общему числу журналов в этом выпуске.

h. Число статей в усредненном журнале за 1 год – для случая «по всем журналам мира» (графа 10, табл. 4). Вычисляется путем деления суммы значений поля *Citable Items* в данном выпуске *JCR-SE* на общее число журналов в этом выпуске.

i. Число статей в усредненном журнале за 1 год – для случая «по журналам России» (графа 11, табл. 4). Вычисляется аналогично пункту (*h*). При этом учитываются только данные, соответствующие журналам России.

j. Изменение числа журналов в текущем году по отношению к этому числу в 2006 г. (графа 12, табл. 4) – для случая «все журналы мира». Представляет собой отношение общего числа журналов в данном выпуске *JCR-SE* к общему числу журналов в выпуске *JCR-SE* за 2007 г.

k. Изменение числа журналов в текущем году по отношению к этому числу в 2006 г. (графа 13, табл. 4) – для случая «журналы России». Вычисляется аналогично пункту (*j*). При этом учитываются только данные, соответствующие журналам России.

Графики на рис. 5 позволяют сделать следующие выводы: во-первых, все показатели, основанные на использовании ИФ, на протяжении всего периода 2006-2017 гг. обнаруживают четкую тенденцию к росту их значений; во-вторых, те значения среднего и средневзвешенного ИФ, которые соответствуют российским журналам, по своей величине в 3-5 раз уступают соответствующим мировым показателям. При этом различие между российскими и мировыми показателями на протяжении всего рассматриваемого периода практически не меняется; в-третьих, значения всех трех показателей, соответствующие российским журналам в заданный момент времени, почти не отличаются друг от друга, тогда как для случая мировых журналов, значения средневзвешенного ИФ всегда намного больше, чем значения среднего ИФ. Это говорит о том, что большая часть мировых статей, публикуется в журналах с более высоким импакт-фактором, тогда как статьи, публикующиеся в журналах России, как бы равномерно «размазаны» по журналам с различным ИФ; в-четвертых, значения средневзвешенного ИФ, соответствующего случаю, когда российские статьи публикуются в зарубежных журналах в несколько раз выше, чем для случая, когда российские статьи публикуются в журналах России. В то же время приходится признать, что даже когда российские статьи опубликованы в зарубежных журналах средневзвешенный ИФ заметно ниже, чем аналогичный показатель для всех мировых статей, опубликованных в указанных журналах. Однако, в последние годы, начиная с 2011 г., этот разрыв стал заметно сокращаться.

**Динамика характеристик мирового и российского массивов статей и журналов,
в которых эти статьи опубликованы**

Годы	Импакт-фактор (ИФ)						доля всех (мировых) статей в журналах России, %	доля журналов России (от числа всех журналов мира, %)	Число статей в усредненном журнале за 1 год		Изменение числа журналов по отношению к 2006 г. (разы)	
	Средний ИФ (СрИФ)		Средневзвешенный ИФ (СрВ ИФ)						по всем журналам мира	по журналам России	все журналы мира	журналы России
	все журналы мира	журналы России	все статьи во всех журналах мира	все статьи в журналах России	российские статьи во всех журналах мира	Российские статьи в журналах России						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
2006	1,892	0,499	2,558	0,493	1,507	0,488	1,63	1,68	143,7	139,7	1,00	1,00
2007	2,047	0,490	2,715	0,484	1,582	0,461	1,58	1,63	144,0	139,4	1,04	1,01
2008	2,011	0,483	2,724	0,480	1,573	0,480	1,56	1,66	138,3	129,5	1,15	1,14
2009	2,010	0,481	2,756	0,500	1,539	0,475	1,72	1,85	133,9	124,4	1,28	1,41
2010	2,046	0,491	2,823	0,549	1,608	0,495	1,64	1,79	139,5	127,8	1,30	1,39
2011	2,092	0,521	2,884	0,571	1,572	0,480	1,46	1,80	144,0	116,5	1,32	1,42
2012	2,174	0,552	2,937	0,590	1,947	0,563	1,44	1,77	152,3	123,8	1,33	1,40
2013	2,219	0,572	3,004	0,566	2,132	0,589	1,37	1,74	152,1	119,2	1,33	1,39
2014	2,251	0,608	2,976	0,600	2,209	0,590	1,36	1,70	153,0	122,4	1,36	1,38
2015	2,429	0,663	2,950	0,647	2,390	0,719	1,45	1,72	145,3	117,5	1,37	1,40
2016	2,583	0,728	3,369	0,726	2,417	0,721	1,30	1,73	160,0	120,2	1,38	1,42

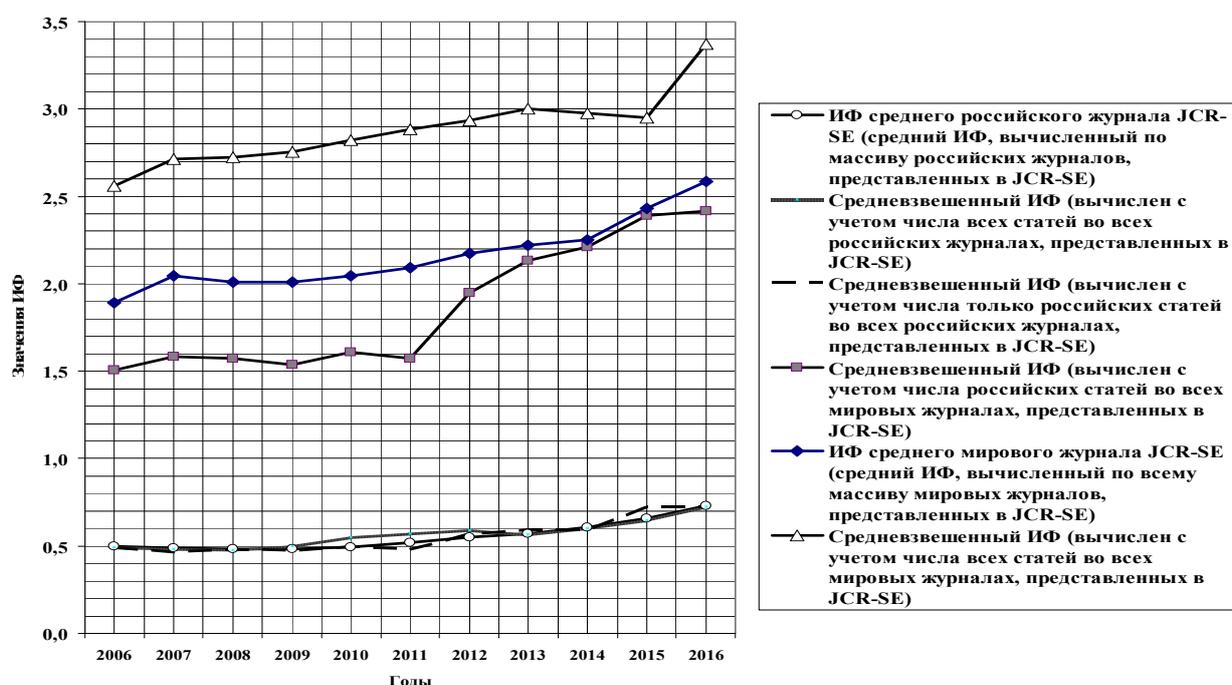


Рис. 5. Динамика показателей, рассчитанных с использованием значений классического импакт-фактора

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Все численные данные в настоящей статье и обозначения типа «мировой поток статей», «доля России в публикациях отрасли знания», нужно воспринимать с учетом того, что исследование проводилось по базам данных *Web of Science* (в которых индексируется не более трети всех научных журналов в мире, и не более четверти публикуемых в России, преимущественно англоязычных). Вместе с тем, приводимые нами за четверть века данные свидетельствуют об относительной стабильности процессов публикационной активности. Они показывают, что эта активность растет во всем мире, в том числе и в России. Однако темпы этого роста в России отстают от мировых почти по всем показателям, за исключением трех последних лет исследуемого периода.

Неизменной остается и структура журнальных публикаций по отраслям знания и научным направлениям в мире и в России, хотя темпы роста в них существенно различаются. В мире преобладают публикации по наукам о жизни и медицине, в России – по физике. В обоих случаях публикации по точным, естественным и техническим наукам количественно превышают публикации по общественным и тем более гуманитарным наукам. Доля российских публикаций по физике в мировом потоке снижается, а по наукам о жизни и медицине незначительно растет. Что касается существенного роста этой доли по общественным и гуманитарным наукам, особенно в последние три года, то его трудно принимать в расчет при том незначительном месте, которое по количеству публикаций эти области науки занимают в общей структуре научных статей.

Особого внимания заслуживает сравнение качества российских журналов с мировыми по импакт фактору самих журналов и их статей. По этому показателю (среднему и средневзвешенному) российские журналы в 3–4 раза уступают мировым. При этом количество российских журналов в *Web of Science* за десятилетие увеличилось почти в полтора раза, а среднее число статей за год в них уменьшилось почти на 20.

Чтобы следить за развитием науки в стране и мире по объективным показателям, нужно иметь собственную и притом государственную наукометрическую (и библиометрическую в том числе) систему. При этом следует учитывать научные исследования по типам и видам, отдавая приоритет публикациям с численными данными о проведенных экспериментах [7].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Garfield E. Contract research services at ISI: citation analysis for governmental, industrial, and academic clients // *Essays of an information scientist: of Nobel class, women in science, citation classics and*

other essays. – Vol. 15 (1992-1993). – Philadelphia, PA: ISI Press, 1992. – P. 1-6.

- Garfield E. A century of citation indexing: key note address // 12th COLLNET meeting, September 20–23, 2011. – Istanbul: Istanbul Bilgi University, 2011. – P. 5-7.
- Kotsemir M., Shashnov S. Measuring, analysis and visualization of research capacity of university at the level of departments and staff members // *Scientometrics.* – 2017. – Vol. 112. – P. 1259-1269.
- Turko T., Bakhturin G., Poloskov S., Gudyum D. Influence of the program "5-top 100" on the publication activity of Russian universities // *Scientometrics.* – 2016. – Vol. –109. – P. 769-782.
- Henk F.M., Markusova V.A., Akoev M. Trends in Russian research output indexed in Scopus and Web of Science // *Scientometrics.* – 2018. – Vol. 116. – P. 1153–1180. – URL: <https://doi.org/10.1007/s11192-018-2769-8>.
- Совет при Президенте Российской Федерации по науке и образованию. Стенографический отчет о заседании 28 ноября 2018 г. – URL: <http://science.gov.ru/events/news/2407/>
- Гиляревский Р.С. О научных публикациях, содержащих численные данные экспериментальных исследований // *Научно-техническая информация. Сер.1.* – 2017. – № 11. – С. 5-10; Gilyarevskii R.S. On the scientific literature that reports quantitative data collected during experimental research // *Scientific and Technical Information Processing.* – 2017. – Vol. 44, № 4. – P. 247-252.

Материал поступил в редакцию 17.01.19.

Сведения об авторах

ГИЛЯРЕВСКИЙ Руджеро Сергеевич – доктор филологических наук, профессор, заведующий Отделением научных исследований по проблемам информатики ВИНТИ РАН; профессор факультета журналистики Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова
e-mail: giliarevski@viniti.ru

ЛИБКИНД Александр Наумович – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник Всероссийского института научной и технической информации Российской академии наук (ВИНИТИ РАН), Москва
e-mail: anliberty@mail.ru

МАРКУСОВА Валентина Александровна – доктор педагогических наук, зав. Отделением ВИНТИ РАН
e-mail: valentina.markusova@gmail.com

Онтологический подход к проектированию образовательных программ в цифровых средах

Рассмотрены вопросы разработки систем проектирования образовательных программ и их компонентов. Предложен подход к такому проектированию, базирующийся на специальных онтологиях, фиксирующих отношения между компонентами программ в различных парадигмах. Описана возможность инструментальной настройки уровня детализации онтологий. Предложена архитектура системы проектирования учебных планов в рамках построенных онтологий.

Ключевые слова: онтологии в образовании, образовательное проектирование, цифровые образовательные системы

ВВЕДЕНИЕ

Цифровые образовательные среды – это совокупность информационных решений, систем и инструментов, способствующих повышению качества образования, содействующих индивидуализации, персонализации и адаптивности обучения, а также сокращению ручного труда в задачах проектирования и управления образовательной деятельностью.

Образовательное проектирование (*Education Design*) – проработка основных деталей деятельности обучающихся и преподавателей для достижения наилучших образовательных результатов. Под такими результатами понимают компетенции, формируемые в ходе обучения и практики, связанные с ними знания, умения и навыки [1]. Инструменты образовательного проектирования – это неотъемлемая часть цифровых образовательных сред.

Основным результатом образовательного проектирования является *образовательная программа* (далее – ОП). Согласно ФЗ-273 «Об образовании в Российской Федерации»¹ это «комплекс основных характеристик образования (объем, содержание, планируемые результаты)». Таким образом, при образовательном проектировании нужно детально продумывать все составляющие ОП.

Отметим, что разные виды образования содержат различные типы компонентов и требуют своего уровня детализации проектирования. Например, в высшем образовании необходимо брать в расчет компетенции, предусмотренные Федеральными государственными образовательными стандартами (ФГОС) [2], а в корпоративном – трудовые функции и профессиональные

компетенции². Или же при проектировании одной образовательной программы требуется составить только список дисциплин, а в другой – обеспечить детализацию по всем темам всех предметов.

В связи с развитием информационных технологий и цифровизацией образования в последние 20 лет появляются цифровые системы, позволяющие осуществлять образовательное проектирование. К этим системам можно отнести:

1. Системы создания учебных планов и рабочих программ, разрабатываемые вузами [3, 4]. Они позволяют распределять количество часов по дисциплинам и их темам, проектировать виды аудиторной и самостоятельной работ. Реализована проверка соответствия часов с учебным планом. Предоставляется возможность создавать новую рабочую программу или программу на основе уже имеющейся. Некоторые системы [4] позволяют добавлять цели, задачи и требования к результатам освоения дисциплин, а также отмечать несколько дисциплин как связанные.

2. Системы управления обучением (*Learning Management Systems, LMS*), самая известная – *Moodle* [5–7]. Такие системы в общем смысле являются веб-приложениями, с помощью которых можно создавать сайты для онлайн-обучения. Система *Moodle*, например, предоставляет средства для проектирования, создания и управления ресурсами информационно-образовательной среды. Преподаватель самостоятельно, используя лишь подсказки справочной системы, может сформировать электронный курс и в дальнейшем управлять его работой.

¹ Федеральный закон от 29 декабря 2012 г. № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации».

² Федеральный закон от 02.05.2015 г. № 122-ФЗ «О внесении изменений в Трудовой кодекс Российской Федерации и статьи 11 и 73 Федерального закона «Об образовании в Российской Федерации».

3. Офисные пакеты для создания документов, таблиц, форм, баз данных, презентаций. Сюда, в первую очередь, могут быть отнесены продукты *Microsoft Office – Word, Excel, Power Point, Access, инструменты Google – Docs, Sheets, Slides* и др..

Указанные инструменты, несмотря на свои возможности, обладают рядом существенных недостатков:

- проектирование осуществляется в виде заполнения форм/таблиц. При этом большое количество связей между компонентами образовательной программы записано только в тексте и не отражается в структуре хранения данных, что затрудняет использование этих связей при совершении запросов к спроектированным ОП;
- не осуществляется проверка корректности/полноты заполнения ОП (включая анализ вводимого текста);
- отсутствует механизм отслеживания повторения одних и тех же образовательных модулей, что может привести к дублированию информации;
- системы проектирования поддерживают только один подход (например, только для университета или только для корпоративного обучения), что может затруднить коммуникацию между представителями бизнеса и образования по вопросам обучения специалистов внутри данных систем;
- традиционное табличное представление учебного плана, образовательной программы, рабочей программы дисциплины не является оптимальным интерфейсом для демонстрации структурных связей между компонентами образовательной программы.

Представленная статья является результатом исследований и разработок, посвященных новому подходу к инструментам создания образовательных программ, учитывающим недостатки существующих систем.

ВЫБОР ПОДХОДОВ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ

Результаты проведенных нами исследований показали необходимость разработки единой цифровой системы проектирования образовательных программ, которая представляет собой приложение, позволяющее пользователю создавать и редактировать компоненты образовательной программы и связи между ними, используя при этом уже имеющиеся образовательные программы как базу знаний.

В качестве главного требования определена возможность проектирования образовательных программ в разных образовательных парадигмах с разной степенью детализации своих компонентов.

Выбраны три подхода, на которых можно, с одной стороны, продемонстрировать различия в компонентах, с другой стороны – на их примере показать возможность реализации всех подходов в рамках одной системы. Поскольку выбранные подходы определяют функциональные возможности проектирования, решено называть их также *режимами работы*.

Подход, основанный на полном соответствии федеральным государственным образовательным стандартам (подход ФГОС). Федеральный государственный образовательный стандарт – совокупность требований, обязательных при реализации основных

ОП высшего профессионального образования образовательными учреждениями, имеющими государственную аккредитацию [2, 8]. ФГОС связан с компетентностной моделью выпускника, которая представляет собой описание набора компетенций, которыми он должен обладать, функций, к выполнению которых он должен быть подготовлен, а также степени готовности к выполнению конкретных обязанностей [9]. ФГОС явным образом указывает на связанность процесса формирования компетенций с образовательными технологиями, а также вводит контроль уровня сформированности компетенций.

Подход «обратного проектирования» (*Backward Design*) [10]. Это метод проектирования ОП, при котором детально прорабатываются образовательные результаты и, исходя из них, выстраиваются применяемые методы и модели обучения.

Подход *Backward Design* тесно связан с задачами развития конкретных компетенций для определенных профессий/специальностей. В этом подходе термин «компетенция» раскрывается, в первую очередь, с точки зрения того, как должен работать человек, обладающий компетенцией, и как следует проявлять ее в конкретных ситуациях. Появляется термин «ситуация», выделенный в отдельный компонент ОП и обозначающий описание профессиональной задачи, адаптированное к образовательному процессу.

Также введен термин «ориентировочная основа действий (ООД)» – описание конкретного алгоритма применения компетенции в заданной роли в определенной ситуации.

Проблемно-ориентированный подход (*Problem-based Learning*) [11], связанный также с концепцией *Instructional design* [12, 13]. Образовательные программы в рамках данного подхода строятся на некотором наборе проблемных задач, которые формируют необходимые компетенции. Ключевым понятием здесь является «проблемная ситуация», создаваемая преподавателем для учебных целей и включающая сложный теоретический или практический вопрос, требующий самостоятельного изучения, расширения знаний, исследований.

Посредством решения проблемной ситуации задачи обучающийся получает необходимые образовательные результаты. При этом дисциплина (преподаваемый предмет) уже не является неотъемлемой частью образовательной программы.

Как можно видеть, подходы, представленные выше, различаются в наборе компонентов образовательной программы и связей между ними, что должно существенно влиять на модель данных, используемую в информационной системе. Механизмы организации данных, учитывающих эту особенность, представлены в следующем разделе.

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ С ПОМОЩЬЮ ОНТОЛОГИЙ

Как известно, онтологии – это концептуальные схемы, формализующие некоторую область знаний [14, 15]. В их состав входят классы объектов, их связи и правила (теоремы, ограничения), принятые в этой области.

Для формализации был выбран инструмент онтологий, позволяющий реализовать возможности проектирования образовательных программ в рамках любого подхода, учитывая множество типов / видов связей между компонентами ОП, а также детализировать эти ОП в разной степени. Онтологии были спроектированы для каждого режима работы с учетом степени детализации.

Проанализировав ФГОС, ООП, стандарты и системы создания рабочих программ, мы выявили базовые компоненты классического образовательного процесса:

- компетенции и ЗУН (знания, умения, навыки);
- дисциплины (учебные предметы), темы, дидактические единицы (атомарные составляющие ЗУН, далее – ДЕ);
- формы обучения (лекции, практики, лабораторные и самостоятельные работы);
- формы контроля (промежуточные и итоговые);
- образовательные технологии (формы проведения занятий, непосредственно формирующие компетенции);
- литература и методические материалы, образцы заданий.

На основе анализа связей между сущностями была построена онтология проектирования образовательной программы в режиме работы ФГОС (рис. 1).

Перечень компонентов онтологии при подходе обратного проектирования (Backward Design) имеет пересечение с перечнем для модуля ФГОС. Однако, как было сказано выше, в рамках подхода *Backward Design* компетенции рассматриваются с точки зрения иной модели, для чего вводятся дополнительные сущности:

- ситуация;
- роль – статус обучаемого в конкретной ситуации (разработчик, аналитик, руководитель проекта и т. п.);
- ориентировочная основа действий (ООД) – порядок действий, в рамках указанной ситуации в определенной роли, определяющий успешное применение компетенции.

Отметим, что ООД компетенции в рамках одной и той же ситуации может зависеть от роли. К примеру, в ситуации «Срыв сроков выполнения проекта» для компетенции «Профессиональная коммуникация» ООД в роли «Руководитель проекта» и роли «Разработчик» будут различаться. На рис. 2 представлена онтология для данного подхода.

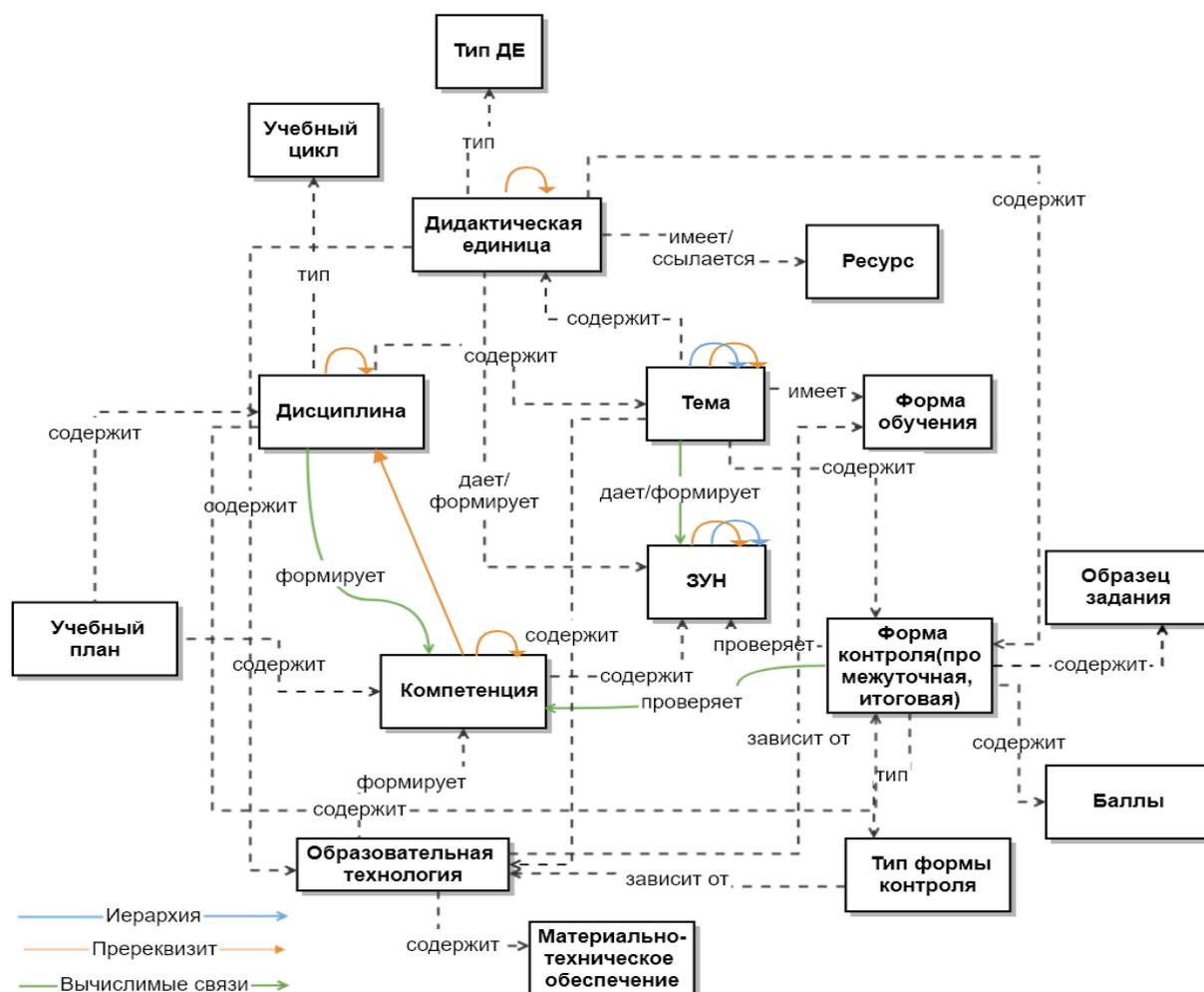


Рис. 1. Построенная онтология системы в рамках подхода, основанного на федеральном государственном образовательном стандарте

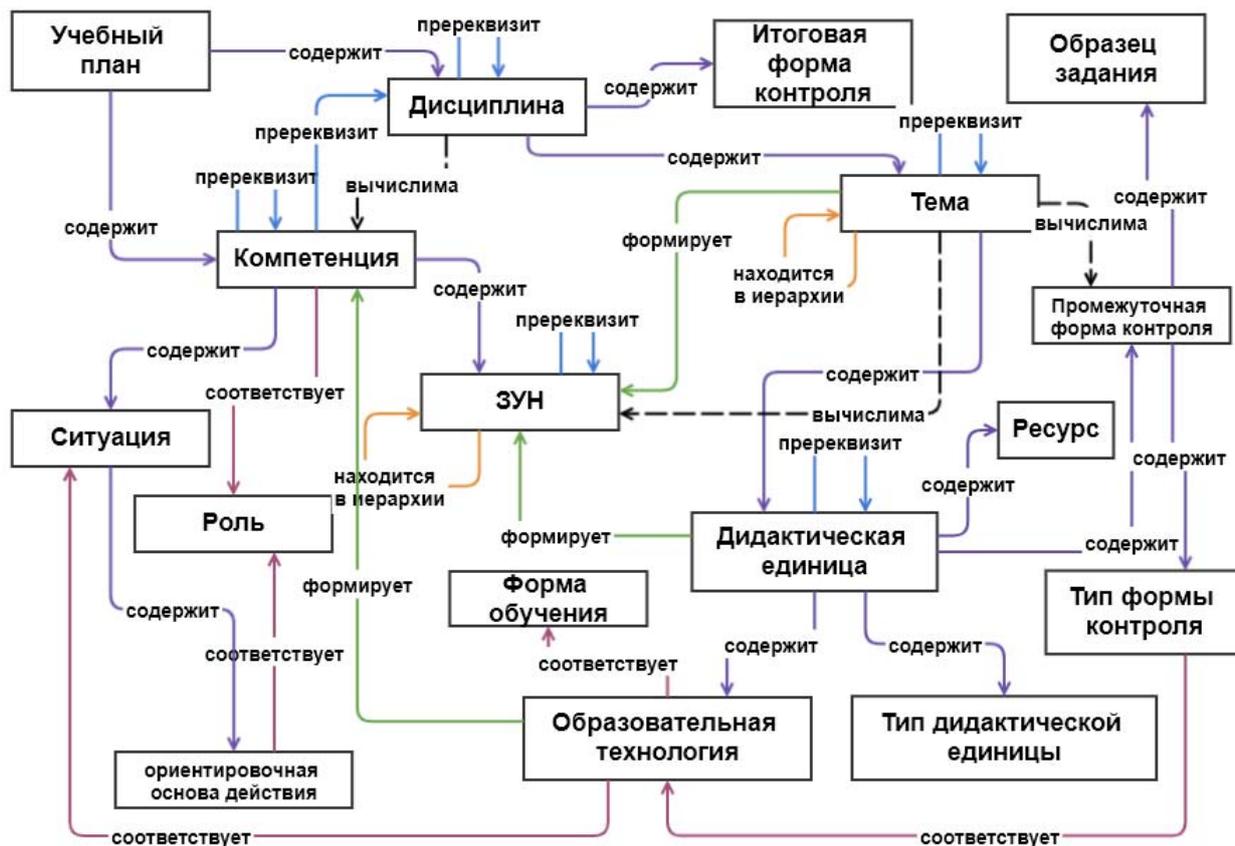


Рис. 2. Построенная онтология системы при подходе *Backward Design*

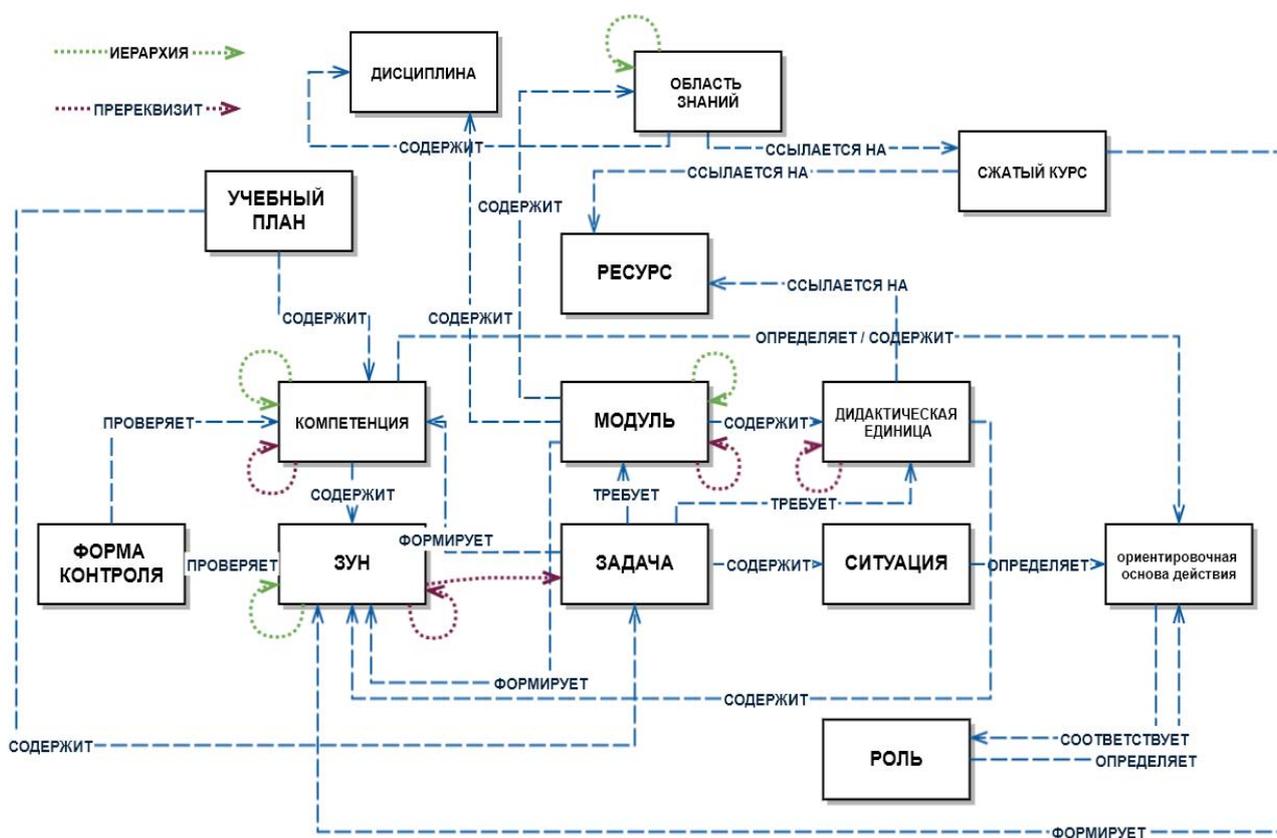


Рис. 3. Построенная онтология системы в рамках подхода *PBL*

При проблемно-ориентируемом подходе (*PBL*) главным инструментом при формировании компетенций служит задача, моделируемая в определенной ситуации. Образование строится из потребности решения проблемных задач, при этом могут изучаться образовательные модули из отдельных дисциплин.

Общая структура онтологии подхода *PBL* (рис. 3) несет следующий смысл – компетенции *приобретаются* в ходе решения задач; задача, в свою очередь, связана с модулями и дидактическими единицами, которые необходимо освоить обучающемуся. Модули и единицы покрываются областями дисциплин. Таким образом, в рамках режима работы *PBL* дисциплина не является основной единицей ОП, а служит формальным описанием к модулям, идентифицируя их принадлежность.

Также введем такое понятие, как «сжатый курс» – короткий интенсив, одной из целей которого является обобщение полученных образовательных результатов. Сжатый курс *связан* с дисциплиной через область знаний.

Все онтологии, несмотря на разницу в подходах, содержат пересекающиеся типы связей, которые было решено обобщить. Это позволило организовать хранение всех онтологий в единой базе данных. Перечень включает в себя связи:

- содержит (*rel*);
- формирует (*output*);
- пререквизит (*prereq*);
- иерархия (*hierarchy*);
- требует (*requires*);
- имеет / ссылается на (*has / refers*);
- проверяет (*check*);
- соответствует (*corresponds*);
- определяет (*defines*).

Для каждой онтологии были сформулированы свои «уровни детализации», в рамках которых онтология редуцировалась с помощью исключения сущностей, не требуемых на рассматриваемом уровне проектирования.

Например, рассмотрим режим работы *Backward Design*, когда необходимо составить только перечень компетенций с дисциплинами, которые их развивают. Тогда единственно необходимыми будут сущности «дисциплина», «компетенция» и связи «пререквизит», «формирует». Получившаяся онтология показана на рис. 4.

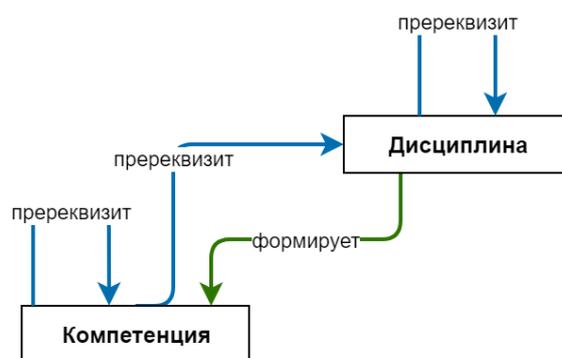


Рис. 4. Минимальная онтология для подхода *Backward Design*

АРХИТЕКТУРА СИСТЕМЫ, РЕАЛИЗУЮЩЕЙ РАССМАТРИВАЕМЫЕ ПОДХОДЫ.

Разработанные механизмы онтологий было необходимо реализовать в базе данных. Эта задача представляла сложность в виду необходимости хранить связи между объектами, а также между классами, разрешенными в рамках данной онтологии. Была реализован подход:

- типы отношений («пререквизит», «иерархия» и др.) хранятся в таблице *RelationsTypes*;
- информация о возможных связях между классами в рамках конкретных режимов работы вынесена в таблицу *RelationPermissions*; каждая ее строка содержит типы первого и второго компонентов, тип связи, разрешенной между ними, а также внешний ключ на режим работы, в рамках которого эта связь справедлива. Структура таблицы с примерами строк приведена на рис. 5;
- конкретная связь между двумя компонентами хранится в таблице *RelationObjects* и представляет собой кортеж, содержащий внешний ключ к объекту таблицы *RelationPermissions*, внешний ключ к объектам из таблиц первого и второго компонентов (определяются типами компонентов из *RelationPermissions*), а также внешний ключ на образовательную программу, для которой данная связь создается. Отметим, что в образовательной программе есть ссылка на режим проектирования, в рамках которого она разрабатывается. Структура таблицы с примерами строк приведена на рис. 6.

<i>id</i>	<i>first_component</i>	<i>second_component</i>	<i>rel_type</i>	<i>mode</i>
4	Дисциплина	Тема	содержит	ФГОС без ДЕ

Рис. 5. Структура таблицы *RelationPermissions*

<i>id</i>	<i>first_instance</i>	<i>second_instance</i>	<i>rel_perm</i>	<i>curriculum</i>
5	Программирование	Одномерные массивы	4	Программная инженерия

Рис. 6. Структура таблицы *RelationObjects*

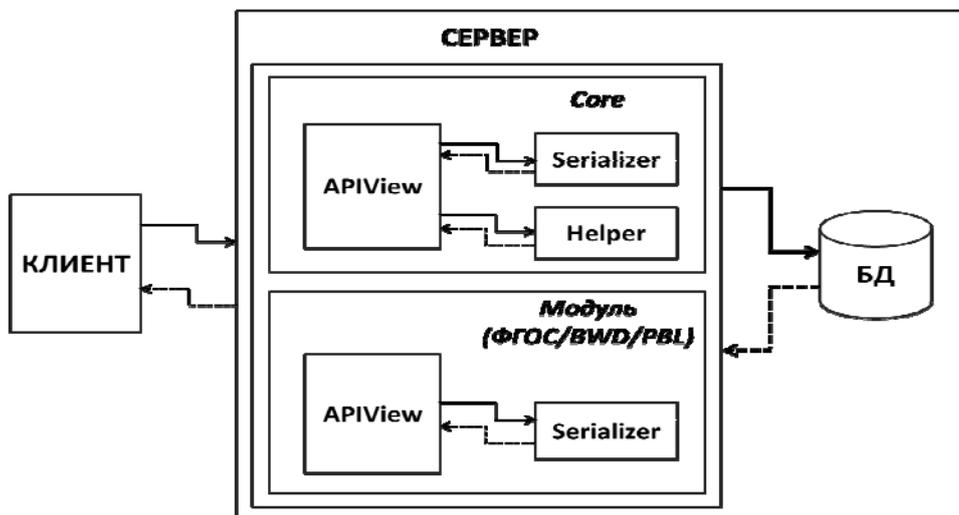


Рис. 7. Общая архитектура системы

Система спроектирована как веб-приложение, серверная часть которого состоит из главного (*core*) модуля, где хранится общая логика системы, и модулей, соответствующих трем подходам, описанным выше. Каждый модуль реализует *API* для доступа к своим данным и функциям, что позволяет гибко подходить к вопросу интерфейса системы. Общая архитектура системы показана на рис. 7.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАЗРАБОТАННЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ В КАЧЕСТВЕ БАЗЫ ЗНАНИЙ

Подход, предложенный в работе, позволяет пользователю при проектировании образовательного процесса опираться на опыт ранее разработанных программ. Они могут быть использованы как база знаний, которая способна автоматически отслеживать создаваемые новые программы и предлагать пользователю внести в них правки.

Был разработан перечень подсказок, описывающих возможность автоматического анализа проектируемой образовательной программы. Реализованные подсказки приведены в таблице.

Классификация подсказок системы при проектировании программ

Название	Определение
Подсказки компонентов и связей	При добавлении компонента система подсказывает пользователю компоненты и связи, соответствующие добавленному, в ранее построенных образовательных программах
Подсказки дублирования образовательных программ	При добавлении более N (число настраивается) компонентов в образовательную программу (даже без наличия связей между ними), пользователь получает информацию о ранее разработанных образовательных программах, в которых содержатся такие

Название	Определение
	же компоненты. С ростом N растет вероятность дублирования образовательной программы. Данная подсказка позволяет предотвратить подобные случаи
Подсказки уровней детализации	Информируют пользователя о недостающих компонентах и связях для данного уровня детализации образовательной программы. При этом демонстрируется шаблон образовательной программы согласно онтологии уровня детализации, описанного ранее
Подсказки третьего компонента	Подсказка уведомляет пользователя о существовании в другой ОП связи между двумя компонентами разрабатываемой образовательной программы через третий
Подсказки типов связей	Подсказки отображаются при попытке пользователя провести связи между компонентами, не предусмотренные в данном уровне детализации. Дают возможность переключить режим проектирования для расширения детализации

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Был разработан прототип системы образовательного проектирования, в котором реализована возможность гибкой настройки как подхода к созданию образовательных программ, так и уровня их детализации с помощью инструмента онтологий. Предложенные принципы хранения онтологии в базе данных позволяют гибко добавлять в систему формализацию новых подходов к образовательному проектированию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Малкова И.Ю., Киселёва П.В. Образовательное проектирование в высшей школе: разработка проектов педагогической практики // Вестник Томского гос. ун-та. – 2011. – №346. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obrazovatelnoe-proektirovanie-v-vysshey-shkole-razrabotka-proektov-pedagogicheskoy-praktiki> (дата обращения: 02.09.2018).
2. ФГОС ВО (3++) по направлениям бакалавриата // Портал Федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования. – 2017. – URL: <http://fgosvo.ru/fgosvo/151/150/24> (дата обращения: 02.09.2018).
3. Рекомендации по разработке и утверждению рабочих программ учебных курсов, предметов, дисциплин (модулей) / Городской методический центр. – URL: <http://mosmetod.ru/metodicheskoe-prostranstvo/srednyaya-i-starshaya-shkola/izo/metodicheskie-materialy/rekomendatsii-po-razrabotke-i-utverzheniyu-rabochikh-programm-uchebnykh-kursov-predmetov-distiplin-modulej.html> (дата обращения: 07.09.2018).
4. Генератор рабочих программ ТУСУР. – URL: <https://workprogram.tusur.ru/> (дата обращения: 07.09.2018).
5. LMS Moodle. – URL: <http://moodle.org> (дата обращения: 07.09.2018).
6. Porter G.W. Free choice of learning management systems: Do student habits override inherent system quality? // Interactive Technology and Smart Education. – 2013. – Т. 10, № 2. – С. 84-94.
7. Преимущества и недостатки системы дистанционного образования MOODLE. – URL: <http://eduros.ru/konf/infor/e9.html> (дата обращения: 07.09.2018).
8. Федеральные государственные образовательные стандарты. – URL: <http://минобрнауки.рф/документы/336> (дата обращения: 07.09.2018).
9. Лагерева А.В., Попков В.И., Горленко О.А. Компетентностный подход и ФГОС третьего поколения // Совершенствование инженерных образовательных программ. – 2012. – № 11. – С. 16–41.
10. Childre A., Sands J.R., Pope S.T. Backward design: Targeting depth of understanding for all learners // Teaching Exceptional Children. – 2009. – Т. 41, № 5. – С. 6-14.
11. Искренко Э.В., Полтон Т.А. Проблемно-ориентированное обучение: особенности методики преподавания в Великобритании (на примере St. George university of London, great Britain) // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: История. Политология. – 2008. – №10(50). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemno-orientirovannoe-obuchenie-osobennosti-metodiki-prepodavaniya-v-velikobritanii-na-primere-st-george-university-of-london-great> (дата обращения: 07.09.2018).
12. The Science of Instruction and the Technology of Instructional Design. – URL: <http://mdavidmerrill.com/Papers/Reclaiming.PDF> (дата обращения: 07.09.2018).
13. Instructional Design. – URL: <http://educational-technology.net/instructional-design/> (дата обращения: 07.09.2018).
14. OWL 2 Web Ontology Language. RDF-Based Semantics (Second Edition): W3C Recommendation 11 December 2012. – 2012. – URL: <https://www.w3.org/TR/owl-rdf-based-semantics> (дата обращения: 15.10.2018).
15. Стюарт Р., Норвиг П. Искусственный интеллект: современный подход: 2-е изд. – М.: Вильямс, 2007. – 1408 с.

Материал поступил в редакцию 25.09.18.

Сведения об авторах

АБРАМСКИЙ Михаил Михайлович – старший преподаватель кафедры программной инженерии, Высшая школа информационных технологий и интеллектуальных систем (ИТИС), Казанский (Приволжский) федеральный университет (КФУ), Казань
e-mail: ma@it.kfu.ru

ЦИММЕРМАН Артур Михайлович – магистрант 2-го года, Высшая школа информационных технологий и интеллектуальных систем (ИТИС), Казанский (Приволжский) федеральный университет (КФУ), Казань
e-mail: arthurcots@gmail.com

АЛЬМУХАМЕТОВА Альбина Альбертовна – бакалавр программной инженерии, Высшая школа информационных технологий и интеллектуальных систем (ИТИС), Казанский (Приволжский) федеральный университет (КФУ), Казань
e-mail: aalmukhametova@gmail.com

АЛТЫНБАЕВА Диляра Тафкелевна – бакалавр программной инженерии, Высшая школа информационных технологий и интеллектуальных систем (ИТИС), Казанский (Приволжский) федеральный университет (КФУ), Казань
e-mail: altdilia@gmail.com

Использование структурного и параметрического полиморфизма при создании цифровых двойников

Рассматривается создание цифровых двойников на основе механизмов структурного и параметрического полиморфизма совместно с ансамблями таблиц решений. Представлена новая точка зрения на понятие полиморфизма применительно к построению цифровых моделей физических объектов. Предлагается новый подход к использованию таблиц как механизма создания цифрового двойника за счет обработки потоков данных и формирования управляющих сигналов на объекты технической системы, определяющихся с помощью значений показателей метрической системы.

Ключевые слова: *структурный полиморфизм, параметрический полиморфизм, таблицы решений, цифровая модель, цифровая тень, цифровой двойник*

ВВЕДЕНИЕ

Цифровые двойники – новое направление в области информационных технологий для решения таких задач как: повышение производительности и эффективности при планировании и контроле производства, оптимизация производственных систем, информационная поддержка принятия решений.

Различают цифровую модель, цифровую тень и цифровой двойник [1–4].

Цифровая модель представляет собой описание структуры и параметров существующих или планируемых объектов технической системы, она не использует какие-либо средства автоматического обмена данными с физическим объектом, которые, как правило, имеют свою систему классификации и ориентированы на описание и управление определенными группами объектов.

После наполнения конкретными данными цифровая модель становится цифровой тенью или цифровым двойником – в зависимости от направления потоков данных. Цифровой двойник отличается тем, что изменение параметров в нем приводит к изменению объекта технической системы. Эта особенность поведения достигается наличием двунаправленной связи, с помощью которой физический объект обменивается данными со своим цифровым двойником в автоматическом режиме. От физического объекта поступают данные об изменениях внешней среды, а от цифрового двойника – данные об изменении внутреннего состояния объекта [5–7].

В процессе реализации конкретного технического решения или изделия появляется дополнительная информация, которая показывает, насколько произведенный продукт отличается от своей идеальной цифровой модели, например, погрешностью размеров, дефектами микроструктуры материала, возникающими в процессе эксплуатации и т.п. Эта информация необходима для мониторинга и управления им на этапах жизненного цикла.

В настоящей работе предлагается использование структурного и параметрического полиморфизма при построении шаблона цифровой модели и перехода к цифровому двойнику конкретного экземпляра физического объекта, который ориентирован на управление подобными объектами.

Поскольку цифровая модель включает описания структуры, физической модели, различных процессов, происходящих в объекте реального мира, то при переходе к цифровому двойнику возникает потребность корректировки структур данных для более точного их описания.

Структурный полиморфизм проявляется во внешней общности методов работы с экземплярами информационных объектов (при этом метод не зависит от внутренней структуры данных) и реализуется как через наследование прототипов, так и через перегрузку методов.

Структурный полиморфизм дает возможность представить методы работы со структурами данных в виде одинаковых спецификаций и методов, которые выбираются в зависимости от меры входных пара-

метров, и реализуется через набор событий информационной системы, осуществляющих преобразование данных и запись их в информационный объект в соответствии с методами обработки событий с учетом фрагмента структуры иерархии прототипов.

В многослойной структуре классов только нижний её уровень связан с объектами реального мира. Все вышележащие уровни являются абстрактными и необходимы для увеличения повторяемости использования кода [8].

СТРУКТУРНЫЙ И ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ ПОЛИМОРФИЗМ КАК СПОСОБ СОЗДАНИЯ ВЕРСИЙ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ

Хотя полиморфизм является распространенным понятием, нет единого мнения относительно его точного определения [9]. Применительно к процессу создания цифровых моделей под полиморфизмом будем понимать возможность вызывать действие или группу действий для цифровых моделей, принадлежащих одному классу, не зная в точности для какой структуры информационного объекта, и какая именно реализация метода будет осуществлена. Конкретная структура информационного объекта и метод работы с ней определяются в момент возникновения потока данных от объекта реального мира к его цифровой тени. Таким образом, полиморфизм – это механизм, позволяющий установить связь между шаблоном цифровой модели и экземпляром, описывающим конкретный объект технической системы, и использовать общие для данного шаблона методы работы с данными [10-14].

При создании цифровых моделей объектов сложной технической системы применяемое программное обеспечение решает различные классы задач: визуальное моделирование, создание твердотельных объектов, триангуляция и создание на её основе моделей физических процессов, программирование алгоритмов поведения объектов, создание объектных хранилищ и баз данных, организация обмена данными при взаимодействии физических объектов и их цифровых двойников. Цифровая модель объекта реального мира может создаваться как оригинальное техническое решение, существующее в единственном экземпляре, и её использование может осуществляться только для конкретного технического решения. Однако по мере развития цифровых технологий возникает необходимость в создании шаблонов цифровых моделей для объектов, имеющих подобные классификационные признаки. К таковым могут относиться лопатки турбин, валы, оси, подшипники и т.п. из которых в последствии осуществляется сборка цифровой модели сложной технической системы.

Процедуры и методы сбора, обработки, преобразования, записи и хранения данных определяются процессами, происходящими в сложной технической системе. При создании шаблонов цифровых моделей используются конструкции прототипов для описания структур данных и методов работы с процессами. Набор прототипов, описывающих модель предметной области, образует структуру информационного

объекта. На каждом уровне иерархии, каждому прототипу соответствует набор объектов технической системы. При этом, в зависимости от значений свойств объекта и наличия определенных процессов будет однозначно определяться их информационное наполнение.

События в реальном мире порождают соответствующие процессы в информационной системе. При наличии связи между реальным объектом и информационной системой через набор событий осуществляется изменение информационного наполнения объектов информационной системы [15].

Структурный полиморфизм позволяет осуществлять динамическое преобразование набора структур иерархий прототипов информационных объектов, интегрированных в процессы создания цифровой тени объекта или в группы объектов технической системы.

Структурный полиморфизм реализован в метрической системе управления процессами, представляющей собой набор показателей, организованных в соответствии со структурой процессов и используемых в них информационных объектов для обеспечения контроля достижения цели управления во взаимосвязанных подсистемах [8]. Каждый показатель характеризуется мерой и единицами измерений.

Любое оригинальное техническое решение содержит типовые элементы. Иерархия классов при структурном полиморфизме должна обеспечить создание цифровой модели конструкции, созданной из типовых элементов. Структурный полиморфизм должен обеспечить создание новых оригинальных решений, которые впоследствии войдут в иерархию классов типовых решений. Структурный полиморфизм используется для создания шаблона цифровой модели и будет удобен при поиске аналогов типовых элементов в иерархии классов.

Создание сложного технического объекта связано с использованием фрагментов типовых и оригинальных решений, так как типовые решения могут не обеспечивать ограничений, накладываемых на техническую систему, например, ограничений по массе, по обеспечению требуемой мощности и т.п.

Параметрический полиморфизм – это механизм, позволяющий обрабатывать значения различных типов объектов одинаковым образом. Он может быть использован для того, чтобы методы работы с данными шаблона цифровой модели могли быть применены для формирования цифровой тени объектов одного класса, входящих в сложную техническую систему [16–18]. Например, можно определить общий тип для создания списков деталей, узлов, агрегатов, списков их состояний, процедур и видов взаимодействия, списков записей базы данных или объектов других типов.

Совместное использование структурного и параметрического полиморфизма позволит решать более широкий круг задач по проектированию цифровой модели, наполнению её данными и управлению технической системой на основе её цифрового двойника, что показано в таблице.

Цели и задачи структурного и параметрического полиморфизма для информационной поддержки процесса создания цифровой модели и цифрового двойника

Вид полиморфизма	Цель применения	Решаемые задачи
Структурный полиморфизм	Упрощение процесса построения цифровой модели физического объекта из шаблона	Возможность наследования структур данных и свойств от родительских объектов в пределах своего класса. Более точное отражение объекта реального мира при формировании его цифровой тени за счет возможности изменения структуры информационного объекта. Возможность анализа данных и поиска
Параметрический полиморфизм	Унификация методов работы с данными при переходе от цифровой модели к цифровой тени объекта технической системы	Возможность наследования методов работы с данными от родительских объектов в пределах своего класса. Создание универсальных методов работы с данными для организации взаимодействия между физическим объектом и его цифровым двойником

ПРИМЕНЕНИЕ «ТАБЛИЦ РЕШЕНИЙ» ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ЗАДАЧИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА

Одним из методов реализации обратной связи между объектом технической системы и его цифровым двойником являются таблицы решений (ТР), которые позволяют строить интеллектуальные информационные системы для анализа и управления физическими объектами посредством цифровых двойников. Эти таблицы, в сравнении с экспертными системами, имеют преимущества: простота построения и использования, возможность встраивания в архитектуры объектных баз данных. Одним из вариантов представления этих таблиц являются деревья решений.

В отличие от условных операторов языков программирования результаты вычисления в таблицах решений не зависят от порядка расположения объектов в таблице, что при определенных условиях может быть и достоинством, и недостатком, ограничивающим возможности представления вариантов решения задач.

Таблицы решений, как правило, разделяются на четыре квадранта:

- 1) условия – список возможных условий, которые представляются в виде значений показателей метрической системы;
- 2) варианты выполнения условий – комбинация из выполнения и/или невыполнения условий из списка;
- 3) действия – список применяемых методов работы с данными для цифровой тени и управляющие сигналы, передаваемые от цифрового двойника физическому объекту;
- 4) необходимость действий – это указание: надо или не надо выполнять соответствующее действие для каждой из комбинаций условий [2].

Условия могут быть представлены различными способами: перечислимым множеством, в частном случае – бинарным, функцией булевой алгебры, функцией нечеткой логики. Использование механизма структурного полиморфизма позволит минимизировать количество процедур выборки и обработки данных за счет обращения только к тем элементам структуры данных, которые являются значимыми для описываемого события.

Действия могут быть либо элементарными – вызывать отдельный метод обработки данных, либо сложными – ссылаться на другие таблицы решений. Взаимодействие тех и других называется каскадом таблиц решений. Если порядок выполнения действий имеет значение, то действия представляются упорядоченным списком, в противном случае – неупорядоченным. Упорядоченный список определяет приоритет применения методов обработки данных цифровой модели. Параметрический полиморфизм позволяет описывать универсальные методы работы с данными и использовать их на разных наборах типов данных.

С точки зрения расширения описательных возможностей таблиц решений наибольший интерес представляют их модификации – упорядоченные каскадные таблицы решений [1] и ансамбли таблиц решений, при использовании которых выход для одной ТР может являться входом для другой. Ансамбль таблиц решений – это такой их набор, который обеспечивает получение нового решения на основе продукционных правил таблиц, участвующих в ансамбле, при этом каждая из таблиц решений остается неизменной и независимой от любых других. В ансамбль могут включаться новые таблицы решений, если на то есть необходимость.

Выходной поток данных из таблиц решений позволяет реализовать связь между цифровой тенью и объектами технической системы, что обеспечивает поддержку реализации цифрового двойника.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование механизмов структурного и параметрического полиморфизма совместно с ансамблем таблиц решений позволяет выйти на полноценное использование цифровых двойников сложных технических систем. Структурный полиморфизм можно использовать для одинаковых методов работы с элементами цифровых моделей различных физических объектов, а параметрический полиморфизм – для создания цифровой тени, наиболее точно повторяющей объект технической системы. Таблицы решений позволяют обеспечить формирование управленческого воздействия при создании обратной связи между цифровой тенью и физическим объектом, для создания цифрового двойника.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Grieves M. Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication // A Whitepaper by Dr. Michael Grieves, 2014. – URL: http://innovate.fit.edu/plm/documents/doc_mgr/912/1411.0_Digital_Twin_White_Paper_Dr_Grieves.pdf (дата обращения: 10.12.2018).
2. Negri E., Fumagalli L., Macchi M. A review of the roles of digital twin in CPS-based production systems // 27th International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing – FAIM2017 (27-30 June 2017, Modena, Italy). – Modena: Procedia Manuf., 2017. – №11. – P. 939–948.
3. Boschert S., Rosen R. Digital Twin – The Simulation Aspect // Mechatronic Futures / eds. P. Hehenberger, D. Bradley. – Cham (Switzerland): Springer, 2016. – P. 59–74.
4. Rosen R., von Wichert G., Lo G., Bettenhausen K.D. About the importance of autonomy and digital twins for the future of manufacturing // IFACPaper-Online. – 2015. – Vol. 48(3). – P. 567–572.
5. Schluse M., Rossmann J. From Simulation to Experimentable Digital Twins - Simulation based Development and Operation of Complex Technical Systems // Second IEEE International Symposium on Systems Engineering – ISSE2016 (October 3–5, Edinburgh, Scotland). – Edinburgh: IEEE Press, 2016. – P. 273–278
6. Kraft E.M. The Air Force Digital Thread/Digital Twin - Life Cycle Integration and Use of Computational and Experimental Knowledge // 54th AIAA Aerospace Sciences Meeting, AIAA SciTech Forum, (AIAA 2016–0897). – San Diego, CA: United States, 2016. – P. 1–22.
7. Abramovici M., Göbel J.C., Dang H.B. Semantic data management for the development and continuous reconfiguration of smart products and systems // CIRP Annals – Manufacturing Technology–2016. – Vol. 65(1). – P. 185–188.
8. Шведенко В.Н., Шведенко В.В., Щекочихин О.В. Применение структурного полиморфизма при создании информационных систем процессного управления // научно-техническая информация. Сер. 2. – 2018. – №11. – С. 9-15; Schvedenko V.N., Schvedenko V.V., Shchekochikhin O.V. Using Structural Polymorphism in Creating Process-Based Management Information Systems // Automatic Documentation and Mathematical Linguistics. – 2018. – Vol. 52, № 6. – P. 290–296.
9. Bo Huang. An object model with parametric polymorphism for dynamic segmentation // Journal Geographical Information Science. – 2003. – Vol. 17, № 4. – P. 343–360
10. Mezini M., Ostermann K. Variability management with feature-oriented programming and aspects // Proceedings of the 12th ACM SIGSOFT symposium on Foundations of software engineering. – New York (NY): ACM Press, 2004/ – P. 127–136.
11. Common Object Request Broker Architecture (CORBA), v2.4.2. Revision2.4 (February 2001), OMG Specification, 2001. P 3-1. – URL: <https://www.omg.org/spec/CORBA/2.4.2/About-CORBA/> (дата обращения: 10.12.2018).
12. Dragan L., Watt S.M. Parametric Polymorphism Optimization for Deeply Nested Types in Computer Algebra // Maple Summer Workshop. – Waterloo (Canada), 2005. – P. 243–259.
13. Gesbert N., Genevès P., Layaïda N. Parametric polymorphism and semantic subtyping: the logical connection // Proceedings of the 16th ACM SIGPLAN International Conference on Functional Programming – ICFP 2011 (September 19–21, 2001 Tokyo, Japan). – Tokyo, 2001. – P. 107–116.
14. Vouillon J. Polymorphic regular tree types and patterns // POPL '06: Conference Record of the 33rd ACM SIGPLAN-SIGACT Symposium on Principles of Programming Languages. – New York (NY): ACM Press, 2006. – P. 103–114.
15. Dragan L., Watt S.M. Performance Analysis of Generics in Scientific Computing // Proc. 7th International Symposium on Symbolic and Numeric Algorithms in Scientific Computing – SYNASC 2005 (Sep 25–29 2005, Timisoara Romania). – Los Alamitos, CA: IEEE Press, 2005. – P. 93–100.
16. Castagna G., Xu Z. Set-theoretic foundation of parametric polymorphism and subtyping // Proceedings of the 16th ACM SIGPLAN international conference on Functional programming (September 19–21, 2011, Tokyo, Japan). – Tokyo, 2011. – P. 94–106.
17. Oancea C.E., Watt S.M. Parametric Polymorphism for Software Component Architectures // Proceedings of the 20th Annual ACM SIGPLAN Conference on Object-Oriented Programming, Systems, Languages, and Applications – OOPSLA 2005 (October 16–20, 2005, San Diego, CA, USA). – New York (NY): ACM Press, 2005.
18. Jagadeesan R., Jeffrey A., Riely J. Typed parametric polymorphism for aspects // Science of Computer Programming. – 2006. – Vol. 63(3). – P. 267–296.

Материал поступил в редакцию 11.01.19.

Сведения об авторах

ШВЕДЕНКО Владимир Николаевич – доктор технических наук, профессор, ведущий специалист ВИНТИ РАН, Москва
e-mail: vv_shved@mail.ru

ШВЕДЕНКО Валерия Валериевна – кандидат экономических наук, системный аналитик ООО "РЕГУЛ+", Санкт-Петербург
e-mail: vv_shved@mail.ru

ЩЕКОЧИХИН Олег Владимирович – кандидат технических наук, доцент, инженер информационной безопасности ООО "ММТР", Кострома
e-mail: slim700@yandex.ru

Е.Ю. Кулямина, А.О. Еркимбаев

Электронная библиотека как средство публикации научных результатов в сети: опыт распространения данных по аномалиям термического расширения вещества*

Предложена концепция малоформатной электронной библиотеки (ЭБ), позволяющей распространять в Интернете собранную информацию по проекту, выполняемому в научном коллективе. В качестве эффективного программного средства построения ЭБ использована многоязычная система автоматизации библиотек и информационных центров ABCD, с применением сервисных возможностей которой создано универсальное средство хранения, систематизации и распространения научных данных. Разработанная библиотека используется для распространения в сети данных и документов по аномалиям термического расширения вещества. Специфика предметной области, предполагающая постоянное возникновение новых терминов, понятий и концепций, расширение круга веществ, отражена в принятой нами системе метаданных с возможностью их непрерывного расширения.

Ключевые слова: база данных, электронная библиотека, метаданные, термическое расширение, аномалии термических свойств

ВВЕДЕНИЕ

Возрастающее количество исследований, проводимых во всех естественнонаучных и инженерных дисциплинах, привело к возникновению принципиально новых средств и технологий хранения, обработки и распространения научных знаний. Среди них – компьютерные базы данных (БД); электронные библиотеки (ЭБ); порталы; интегрированные среды, объединяющие разнородные ресурсы и сервисы; инструментарий *Semantic Web*, обеспечивающий автоматическое связывание опубликованных в сети тематически родственных документов. Существует обширная научная литература по использованию этих технологий в таких областях как астрономия, биология, химия и др. [1–4]. Все эти технологии нацелены на охват, систематизацию и распространение обширного потока документов и данных, актуальных для определенной дисциплины.

Необходимость в новых формах публикаций, отличных от традиционных, возникает и для задач меньшего масштаба, например, для распространения результатов, полученных в отдельной научной группе по определенному проекту [5, 6]. В настоящей статье развита концепция такой формы научных публикаций, использующей возможности самостоятельной малоформатной ЭБ, на основе которой можно сформировать обширную коллекцию электронных

документов, обеспечив их детальную рубрикацию и непрерывную эволюцию состава и структуры.

В качестве примера, иллюстрирующего эффективность и преимущества электронных библиотек, использованы материалы проекта Российского фонда фундаментальных исследований в области физики конденсированного вещества, связанного с аномалиями термического расширения¹.

Термическое расширение – фундаментальное свойство твердых тел. Хорошо известно, что подавляющее большинство веществ и материалов расширяются во время нагревания при постоянном давлении, т.е. они имеют положительный коэффициент термического расширения (КТР). Однако, некоторые материалы, такие как вольфрамат циркония ZrW_2O_8 , силикаты (β -эвкрипит $LiAl[SiO_4]$), цианиды ($Cd(CN)_2$), сплавы «Инвар» типа $Fe-Pt$, оксиды перовскита (на основе никеля $Bi_{0,95}La_{0,05}NiO_3$), в определенных температурных интервалах проявляют аномальные свойства, уменьшаясь в объеме (сжимаясь) во время нагрева при определенном постоянном давлении, т.е. имеют отрицательный коэффициент термического расширения (ОКТР). Подобное аномальное поведение демонстрируют не только твердые тела, но и жидкости – самая известная из которых – вода.

* Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 17-08-00736

¹ Проект РФФИ «Термодинамика веществ с отрицательными коэффициентами термического расширения и Грюнайзена».

Существует ряд важных потенциальных применений веществ с отрицательным коэффициентом термического расширения. Наиболее очевидное – создание композиционных материалов, коэффициент расширения которых можно точно настроить к положительному, отрицательному или даже нулевому значению.

В ходе нашей работы была собрана обширная коллекция документов: статьи, электронные файлы, протоколы с результатами физических и компьютерных экспериментов, графические материалы, средства мультимедиа и т.п. В создаваемом хранилище каждый документ сопровождается разноплановой информацией (библиографическая и фактографическая), а также размещенные на сервере и в сети тексты публикаций и численные данные. Совокупность собранных данных в виде электронных документов разного формата образует основу ЭБ. В соответствии с принятым стандартом [7], под термином «**электронная библиотека**», понимается информационная система, предназначенная для организации и хранения упорядоченного фонда электронных объектов, а также для обеспечения доступа к этим объектам средствами навигации и поиска. Подробно электронные библиотеки рассмотрены в [8-10]. С их помощью решаются следующие задачи:

- формирование фонда (регистрация, обработка, исключение объектов);
- хранение и актуализация данных из множества ресурсов, различающихся *контентом* и средой представления;
- разносторонняя систематизация представленных данных в соответствии со стандартами, принятыми в выбранной предметной области;
- поддержка разнообразных способов представления информации;
- способность интеграции собственных документов ЭБ с документами и данными, размещенными в глобальной сети;
- предоставление пользователям возможности навигации в системе, поиска и получения информации;
- администрирование и управление системой.

ВЫБОР СИСТЕМЫ ABCD В КАЧЕСТВЕ ПЛАТФОРМЫ ЭЛЕКТРОННОЙ БИБЛИОТЕКИ

Для разработки и поддержки тематически-ориентированной электронной библиотеки в качестве соответствующего инструментария нами была использована *ABCD (Automatización de Bibliotecas y Centros de Documentación)* – интегрированная система автоматизации библиотек и информационных центров, разработанная информационным центром *BIREME* университета г. Сан-Паулу (Бразилия). Изначально она создавалась как региональная система, способная поддерживать общедоступную информацию в сфере медицины и культуры в странах Латинской Америки (подробное описание системы *ABCD* см. на сайте её разработчиков [11] или в [12, 13], где она использовалась для управления обширными хранилищами теплофизических данных).

Программный пакет *ABCD* состоит из относительно независимых модулей, которые могут взаимодействовать друг с другом, но могут работать и независимо. Основной компонент системы включает модули, обеспечивающие:

- администрирование БД (создание БД, редактирование их структуры, использование утилит);
- каталогизацию источников;
- сбор данных и источников;
- выдачу статистических данных о состоянии фонда и обращениях к нему;
- экспорт/импорт документов в различных форматах.

Электронная библиотека, созданная на основе *ABCD*, имеет возможности: варьировать форматы представления библиографических данных; хранить специализированные коллекции, включающие цифровые и графические данные; сочетать библио- и фактографическую информацию; собирать данные из внешних сред. Наряду с этим, она поддерживает классификаторы, обладает развитой системой поиска на библиотечном сервере и в сети Интернет, а также предоставляет пользователям доступ к электронным книгам и другим первоисточникам в электронном виде.

Для разработчиков ЭБ практическая ценность системы *ABCD* заключается в том, что это открытое (свободно распространяемое) приложение, способное генерировать произвольную по сложности систему полей/метаданных, адекватно отражающих систематизацию данных в достаточно сложных предметных областях. Многообразие типов и форматов данных, предусмотренное в *ABCD*, создает широкие возможности для хранения и систематизации документов, существенно различающихся по объему, структуре, среде и форме представления при весьма скромных компьютерных ресурсах, поэтому *ABCD* идеально подходит для составления сложноорганизованных коллекций и архивов научных документов, создаваемых и поддерживаемых в рамках небольших научных коллективов [5, 6, 12, 13].

Ключевую роль в проекте создаваемой ЭБ играет принцип систематизации предметной области, включающий выбор полей/метаданных и присвоение каждому из них определенного формата. В табл. 1 показаны возможности системы *ABCD* в части выбора форматов.

При разработке нашей электронной библиотеки были в основном использованы форматы трех типов: текстовой, классификатор и *HTML*.

Текстовые форматы (№ 2 и № 3 табл. 1) предоставляют возможность ввести строку фиксированной или произвольной длины.

Форматы “*Select simple*” и “*Select multiple*” наделяют поле записи функцией классификатора, позволяя выделить один или несколько элементов из предварительно составленного списка. Они фиксируют название определяющих признаков, избегая неоднозначности и свободного назначения этих понятий на этапе ввода и/или поиска. Поля записи, в которых имеет смысл использовать эти форматы, – это выбор языка, использованного в источнике, выбор метода исследования, типа документа и т.п.

Форматы ввода, предусмотренные в системе ABCD и используемые в полях записи созданной электронной библиотеки

№	Формат	Особенность формата
1	<i>Auto increment</i>	Автоматическое назначение номера
2	<i>Text</i>	Формат ввода в окне текста фиксированной длины
3	<i>Text/Textarea</i>	Формат ввода в окне текста переменной длины
4	<i>Select simple</i>	Классификатор с возможностью выбора одного элемента из составленного списка
5	<i>Select multiple</i>	Классификатор с возможностью выбора нескольких элементов из составленного списка
6	<i>Upload file</i>	Загрузка находящегося на сервере файла с генерацией соответствующей связи
7	<i>External HTML</i>	Загрузка файла из сети по заданному URL-адресу с генерацией соответствующей связи
8	<i>HTML area</i>	Предоставление пользователю полноценного редактора для ввода и редактирования текста с HTML-кодами
9	<i>Hidden</i>	Ввод данных, закрытых при просмотре

Формат “HTML area” предназначен для ввода в ЭБ сложноструктурированных блоков информации. Он позволяет при вводе текста управлять шрифтами, вводить графические элементы, гиперссылки и др. При этом, не предполагается каких-либо априорных требований к структуре блока, что является основным условием поддержки данных сложной структуры, так называемых *полуструктурированных* данных (ПСД) [14].

Кроме перечисленных, предусмотрено два формата только для связи с внешними ресурсами: “External HTML” и “Upload file”. Они реализуют в полном объеме потенциал ЭБ, включая: сочетание библиографических данных с полным текстом источника, неограниченные возможности по использованию контекстной информации, множество сред представления данных (графика, видео, аудио и др.).

МЕТАДАННЫЕ И ПОИСКОВЫЕ СРЕДСТВА ЭЛЕКТРОННОЙ БИБЛИОТЕКИ

Предусмотренные в системе ABCD форматы позволяют вводить характерный для предметной области набор метаданных. Как было отмечено, основным требованием при создании такого набора является организация сложной логической структуры данных ПСД, характерной для всей области «свойства веществ и материалов» [14-16] и необходимой в тех случаях, когда данные невозможно «встроить» в рамки жестко фиксированной схемы, что требуется в традиционных БД. Особенность полуструктурированных данных – частые вариации числа и типа метаданных в зависимости от выбора объекта. Как правило, это связано с различиями в стандартах описания разных веществ (например, с учетом их изомерии или неполной стехиометрии), а также в номенклатуре физических свойств, присущих разным классам веществ. Общий подход к решению проблем, связанных с вариацией структуры данных по свойствам веществ, изложен в работах [15, 16].

Форматы ввода ABCD обеспечивают относительно простые средства поддержки гибкой структуры данных. Посредством классификаторов удается сформировать «жесткий остов» структуры с выбором фиксированных значений метаданных. По мере заполнения электронной библиотеки новыми документами имеется возможность расширять список, используемый каждым из классификаторов, за счет новых, ранее не предусмотренных элементов, например новых видов свойств. Формат типа “HTML area” позволяет в достаточно произвольной форме расширить трактовку каждого из понятий, используемых в ЭБ.

Структура электронной библиотеки

Для развернутой аттестации документов, относящихся к тематике, связанной с аномалиями теплового расширения вещества, предложена система полей/метаданных (табл. 2). Запись, соответствующая одному документу, предусматривает заполнение 21-го поля, каждое из которых имеет определенный формат ввода, указанных в табл. 1. В совокупности все эти поля позволяют отобразить набор признаков, определяющих источник документа (библиографическая информация), особенности рассматриваемых материалов или веществ, примененные методы изучения (экспериментальные и теоретические) и описанные свойства этих материалов, а также дают возможность пользователю ознакомиться с полным текстом документа и/или с дополнительной информацией, расположенной на удаленных серверах.

Все поля, приведенные в табл. 2, можно разделить на три блока.

Поля первого блока (№№ 1–3, 10–15, 18 и 19) содержат информацию, описывающую источник: автор, название, место и время публикации и т.д. Поле № 2 указывает тип записи, позволяя в ЭБ разделить записи, содержащие библиографическую, полнотекстовую и фактографическую информацию, извлекаемую из документа. Поле № 3 выделяет тип источника

(статья, монография и т.п.) Оба эти поля, как и поле № 15, используют формат ввода “*Select simple*” – классификаторы с возможностью выбора только одного элемента из предварительно составленного списка. Поле № 18 содержит ключевые слова из текста, размещаемого в ЭБ документа, а поле № 19 – аннотацию выбранного документа. В последнем используется формат типа “*HTML area*”.

Поле № 21 не предназначено для просмотра пользователем и отражает служебную информацию, например, сведения о дате ввода и фамилию эксперта и др.

Поля второго блока определяют различные аспекты научного содержания документа: название вещества или материала, перечень свойств, состояний и методов исследований. В этом блоке активно используется формат ввода “*Select multiple*”, т. е. классификатор с возможностью выбора нескольких элементов из предварительно составленного списка. С его помощью указываются агрегатное состояние (поле № 4), метод исследования (поле № 5), названия веществ (поле № 7) и свойств (поле № 9). Возможность выбора нескольких элементов из списка позволяет наиболее полно отразить содержание большинства исследований, где одновременно рассматривается несколько веществ, определяется набор свойств и т.п.

Поля третьего блока (№№ 16, 17, 20) содержат гиперссылки на внешние ресурсы: № 16 – включает

гиперссылку на размещенный на сервере файл с полным текстом документа (статьи, монографии, обзоры и т. д.); № 17 – связывает пользователя с таким же файлом, но размещенным на удаленном сервере; комментарии и гиперссылки на справочные документы на сервере или в сети внесены в № 20. Поля этого блока могут быть полезны пользователям, так как отражают общие сведения в выбранной предметной области.

В табл. 3 раскрывается содержание списков, включенных в каждый из классификаторов, предусмотренных в системе полей (см. табл. 2).

Непрерывное развитие предметной области, возникновение новых понятий и терминов вызывает необходимость расширения классификатора новыми элементами без исключения уже имеющихся. В системе *ABCD* предусмотрена эволюция классификаторов [11–13], что и было использовано в создаваемой электронной библиотеке. Наряду с этим, учитывалось, что перечень элементов классификаторов, раскрывающих научное содержание документа, никогда не является исчерпывающим из-за сложной структуры данных [14–16]. С этой целью для ряда понятий, наряду с классификатором, использовался и текстовый формат: поле № 6 – для раскрытия понятия о веществе/материале и поле № 8 – для раскрытия понятия о свойстве.

Таблица 2

Поля записи электронной библиотеки

Номер поля	Название поля	Формат ввода
1	<i>Record index</i>	<i>Auto increment</i>
2	<i>Record type</i>	<i>Select simple</i>
3	<i>Document type</i>	<i>Select simple</i>
4	<i>State</i>	<i>Select multiple</i>
5	<i>Research methods</i>	<i>Select multiple</i>
6	<i>Substance(free title)</i>	<i>Text/Textarea</i>
7	<i>Substance</i>	<i>Select multiple</i>
8	<i>Property(free title)</i>	<i>Text/Textarea</i>
9	<i>Property(classif)</i>	<i>Select multiple</i>
10	<i>Authors</i>	<i>Text/Textarea</i>
11	<i>Affiliation</i>	<i>Text/Textarea</i>
12	<i>Title</i>	<i>Text/Textarea</i>
13	<i>Source</i>	<i>Text/Textarea</i>
14	<i>Year</i>	<i>Text</i>
15	<i>Language</i>	<i>Select simple</i>
16	<i>Full text</i>	<i>Upload file</i>
17	<i>Web source</i>	<i>External HTML</i>
18	<i>Keywords</i>	<i>Text/Textarea</i>
19	<i>Abstract</i>	<i>HTML area</i>
20	<i>Comments</i>	<i>HTML area</i>
21	<i>Service comments</i>	<i>Hidden</i>

Классификаторы, используемые в электронной библиотеке

Номер поля записи	Название	Тип	Перечень элементов
2	<i>Record type</i>	<i>Simple</i>	Полный текст Библиография Данные
3	<i>Document type</i>	<i>Simple</i>	Статья Монография Обзор Отчет Диссертация Web-документ Документ конференции Патент Препринт Презентация Сообщение Тезисы Словарь/Энциклопедия
4	<i>State</i>	<i>Multiple</i>	Твердое Жидкое Газообразное
5	<i>Research methods</i>	<i>Multiple</i>	Молекулярная динамика Уравнение состояния Первопринципный расчет Традиционный эксперимент Алмазные наковальни Ударные волны Изоэнтропа
7	<i>Substance</i>	<i>Multiple</i>	H_2O ZrW_2O_8 Si SiO_2
9	<i>Property(classif)</i>	<i>Multiple</i>	Коэффициент теплового расширения Коэффициент Грюнайзена Скорость звука Фазовый переход Плотность Температура
15	<i>Language</i>	<i>Simple</i>	Русский Английский Немецкий Французский Китайский

Средства поиска электронной библиотеки

Большой набор полей, использующих разные типы форматов ввода, позволяет вести многоаспектный поиск в ЭБ, ориентируясь на требования пользователя в отношении типа данных, вещества, свойства и т.п. Традиционный поиск с помощью конструктора запросов, реализуемый классификаторами в комбинации с логическими операторами *AND*, *OR*, *NOT* дает относительно простой, хотя и схематичный, способ выбора релевантных документов. Например, связывая оператором *AND* набор признаков

“*Record type*”=Полный текст

“*Document type*”=Статья

“*Substance*”= H_2O ,

пользователь выделит из фондов ЭБ все документы, включающие полные тексты статей, содержащих данные для H_2O .

Поиск можно сузить, выбрав дополнительно один (или несколько) элементов в классификаторах “*Research methods*” и “*Property(classif)*”, а расширить сферу поиска можно, отказавшись от использования классификаторов “*Record type*” и/или “*Document type*”, т.е. приняв все виды записей и все типы исходных документов. Наряду с поиском посредством классификаторов, система позволяет проводить так называемый, *полнотекстовый* поиск, т. е. ориентироваться на определенную лексическую единицу. В этом случае, поиск по термину включает текстовые записи в по-

лях “*Substance(free title)*”, “*Property(free title)*” и “*Keywords*”. Существенно также, что полнотекстовый поиск захватывает и поля, заполненные в формате “*HTML area*”, вне зависимости от типа и размера шрифта.

Хотя тематика электронной библиотеки ограничена определенным кругом явлений, глубокая связь этих явлений с особенностями строения вещества предполагает использование при систематизации данных достаточно широкой терминологической базы. В частности, тепловое расширение в твердой фазе зависит от деталей кристаллической решетки, фононного спектра, механических свойств и т.п. [17]. Процессы теплового расширения вещества в жидкой фазе связаны с другим кругом явлений и характеристик [18]. Это, прежде всего, фазовая диаграмма, отражающая возможность расслоения, параметры фазовых переходов, сжимаемость и коэффициент диффузии. Возможности термических аномалий в ударных волнах требуют вовлечения таких понятий как динамическая сжимаемость, ударная адиабата, изоэнтропа разгрузки и др. [19].

В научной литературе постоянно возникают новые понятия и термины, например, *полиаморфизм*, отражающий сосуществование в однокомпонентной жидкости различных аморфных состояний, или вторая критическая точка, завершающая линию фазового расслоения жидкости [20]. Непрерывный рост числа новых понятий ведет к необходимости не только ввода новых документов, но и перманентной подстройки системы метаданных, в том числе путем расширения или создания новых классификаторов, а также возможного введения в классификаторы иерархических структур.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе системы *ABCD* была реализована самостоятельная малоформатная электронная библиотека по аномалиям термического расширения веществ. Предложенные нами системы полей и наборы классификаторов в сочетании с возможностями *ABCD* позволили выполнить задачи сбора и регистрации в единой базе результатов мировых научных исследований в такой специфичной и узкой, но крайне важной с фундаментальной точки зрения, области знания, как аномальное поведение веществ и материалов. Созданная электронная библиотека открывает возможности для теоретического анализа и сравнения известных данных по аномалиям термического расширения и дальнейшего накопления новых данных. Использование *ABCD* в качестве рабочей платформы позволяет безболезненную модернизацию/расширение системы полей и классификаторов (электронная библиотека имеет в сети электронный адрес: <http://entropy-plus.thermophysics.ru>. Гостевой вход возможен по логину/пароллю: entropy/entropy).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бартунов О.С., Карпов С.В. Базы данных и астрономия - практический подход // Электронные библиотеки. – 2011. – Т. 14, № 1. – URL: <http://www.elbib.ru/index>.

- phtml?page=elbib/rus/journal/2011/part1/BK (дата обращения 03.11.2018 г.).
2. Marcondes C.H., Malheiros L.R., da Costa L.C. A semantic model for scholarly electronic publishing in Biomedical Sciences // *Semantic Web*. – 2014. – Vol. 5, № 4. – P. 313-334.
 3. Bird C.L., Frey J.G. Chemical information matters: an e-Research perspective on information and data sharing in the chemical sciences // *Chemical Society Reviews*. – 2013. – Vol. 42, № 6. – P. 6754-6776.
 4. Еркимбаев А.О., Зицерман В.Ю., Кобзев Г.А., Серебряков В.А., Теймуразов К.Б. Технология научных публикаций в среде «открытых связанных данных» // *Научно-техническая информация. Сер. 1*. – 2013. – № 12. – С. 1-11; Erkimbaev A.O., Zitserman V.Y., Kobzev G.A., Serebrjakov V.A., Teymurazov K.B. Publishing scientific data as linked open data // *Scientific and Technical Information Processing*. – 2013. – Vol. 40, № 4. – P. 253-263.
 5. Трахтенгерц М.С. Электронная библиотека научного коллектива // *Труды 13-й Всероссийской научной конференции «Электронные библиотеки: перспективные методы и технологии, электронные коллекции» – RCDL'2011*. – Воронеж, 2011. – С. 395-396.
 6. Cragin M.H., Palmer C.L., Carlson J.R., Witt M. Data sharing, small science and institutional repositories // *Philosophical Transactions of the Royal Society*. – 2010. – Vol. 368. – P. 4023-4038.
 7. ГОСТ Р 7.0.96-2016. «СИБИД. Электронные библиотеки. Основные виды. Структура. Технология формирования» – URL: https://www.rsl.ru/datadocs/doc_7667ve.pdf (дата обращения 28.11.2018 г.).
 8. Земсков А.И., Шрайберг Я.Л. Электронные библиотеки: учебник для студентов вузов культуры и искусств и др. высших учеб. заведений. – М.: Либерия, 2003. – 352 с.
 9. Когаловский М.Р., Новиков Б.А. Электронные библиотеки – новый класс информационных систем // *Программирование*. – 2000. – № 3. – С. 3-8.
 10. Когаловский М.Р. Систематика коллекций информационных ресурсов в электронных библиотеках // *Программирование*. – 2000. – № 3. – С. 30-52.
 11. ABCD library automation software. – URL: <https://sites.google.com/site/abcdlibraryautomationsoftware/> (дата обращения 05.09.2018 г.).
 12. Трахтенгерц М.С. *ABCD* – автоматизированная библиотечная система на базе *WinISIS* // *Научно-техническая информация. Сер. 2*. – 2009. – № 8. – С. 33-35; Trakhtenherz M.S. ABCD, an Automated Library System Based on WinISIS // *Automatic Documentation and Mathematical Linguistics*. – 2009. – Vol. 43, № 4. – P. 241-243.
 13. Еркимбаев А.О., Зицерман В.Ю., Кобзев Г.А., Трахтенгерц М.С. Цифровая библиотека вместо традиционной базы данных для нанотехнологий: опыт использования системы

- ABCD // Научно-техническая информация. Сер. 2. – 2014. – № 5. – С. 12-22; Erkimbaev A.O., Zitserman V.Yu., Kobzev G.A., Trakhtenherz M.S. A digital library instead of a traditional database for nanotechnologies: An attempt to use the ABCD system // Automatic Documentation and Mathematical Linguistics. – 2014. – Vol. 48, № 4. – P. 213–223.
14. Techopedia. Semi-Structured Data. – URL: <https://www.techopedia.com/definition/28802/semi-structured-data> (дата обращения 18.10.2018 г.).
15. Еркимбаев А.О., Зицерман В.Ю., Кобзев Г.А., Фокин Л.Р. Логическая структура физико-химических данных. Проблемы стандартизации и обмена численными данными // Журнал физической химии. – 2008. – Т. 82, № 1. – С. 20-31.
16. Еркимбаев А.О., Зицерман В.Ю., Кобзев Г.А. Роль метаданных в создании и использовании информационных ресурсов о свойствах веществ и материалов // Научно-техническая информация. Сер. 1. – 2008. – № 11. – С. 13-19; Erkimbaev A.O., Zitserman V.Yu., Kobzev G.A. The Role of Metadata in the Creation and Application of Information Resources on the Properties of substances and Materials // Scientific and Technical Information Processing. – 2008. – Vol. 35, № 6. – P. 247–255.
17. Mittal R., Gupta M.K., Chaplot S.L. Phonons and anomalous thermal expansion behavior in crystalline solids // Progress in Materials Science. – 2018. – Vol. 92. – P. 360–445.
18. Errington J.R., Truskett T.M., Mittal J. Excess-entropy-based anomalies for a waterlike fluid // Journal of Chemical Physics. – 2006. – Vol. 126, Answer № 244502.
19. Медведев А.Б., Трунин Р.Ф. Ударное сжатие пористых металлов и силикатов // Успехи физических наук. – 2012. – Т. 182, № 8. – С. 829-846.
20. Anisimov M.A., Duška M., Caupin F. et al. Thermodynamics of Fluid Polyamorphism // Physical Review X. – 2018. – Vol. 8, Answer № 011004.

Материал поступил в редакцию 27.12.18.

Сведения об авторах

КУЛЯМИНА Елена Юрьевна – ведущий инженер, Объединенный институт высоких температур Российской академии наук, Москва
e-mail: kulyamina.elena@gmail.com

ЕРКИМБАЕВ Адильбек Омирбекович – кандидат технических наук, заведующий лабораторией, Объединенный институт высоких температур Российской академии наук
e-mail: adilbek@ihed.ras.ru

УДК [002:004]:629.4.014.2

А.А. Воробьев, А.В. Горский, В.А. Козырев

Информационные ресурсы для методики оценки показателей надежности тягового подвижного состава

Для получения достоверных оценок показателей безотказности и долговечности оборудования в процессе эксплуатации необходимо систематизировать большой объем информации о межремонтных периодах тягового подвижного состава (ТПС) и наработок до отказа и между отказами оборудования в масштабе наработки. Приведена методика расчета показателей непараметрической надежности ТПС на основе различной информации по выборке наработок до отказа и между отказами оборудования.

Ключевые слова: информационные ресурсы, железнодорожный транспорт, тяговый подвижной состав, надежность и безотказность оборудования

При создании базы данных информационных ресурсов и программного обеспечения управления железнодорожным транспортом необходимо учитывать параметры и показатели непараметрической надежности тягового подвижного состава.

В настоящее время происходит замена морально и физически устаревшего парка тягового подвижного состава (ТПС). Обеспечение надежной работы ТПС при эксплуатации – важнейшее условие успешного функционирования железнодорожной отрасли, а надежность ТПС при эксплуатации, в свою очередь, зависит от множества факторов: качества отдельных узлов и агрегатов; условий эксплуатации; квалификации работников, эксплуатирующих и обеспечивающих надлежащее техническое состояние подвижного состава; правильно построенной системы технического обслуживания и ремонта [1].

Большое значение в решении задач, направленных на повышение надежности тягового подвижного состава, имеет мониторинг технического состояния его оборудования в процессе эксплуатации. При правильной систематизации информации о надежности появляется возможность решать задачи [1–3]:

- оценки показателей безотказности и долговечности конкретного оборудования в рассматриваемых условиях эксплуатации при фиксированной наработке его от начала эксплуатации (восстановления);
- зависимости от наработки показателей безотказности, что, в свою очередь, позволит оценить изменение технического состояния с увеличением наработки;

- построения рациональной системы ремонта с учетом реального ресурса оборудования ТПС в конкретных условиях эксплуатации;
- целесообразности и объема модернизации конкретного оборудования на основании анализа его надежности.

Для решения этих задач необходимо изменить подход к анализу и систематизации информации о надежности. Анализ результатов обработки информации показывает, что расчет такого показателя надежности, как число отказов на 1 млн километров (аналог показателя безотказности – параметра потока отказов), рассчитывается как отношение числа отказов конкретного оборудования за отчетный период к суммарному линейному пробегу локомотива за этот же период. Ошибки при анализе надежности исключаются при правильном формировании выборок наработок оборудования до отказа (между отказами).

Для каждого факта отказа должна быть зафиксирована наработка рассматриваемого оборудования до этого отказа от начала эксплуатации (восстановления):

- расчет показателей надежности должен осуществляться в зависимости от наработки оборудования, а не от календарного времени работы (месяца, года);
- расчет показателей безотказности – параметр потока отказов или интенсивность отказов – должен определяться как отношение числа отказов оборудования за рассматриваемый период наработки к суммарной наработке оборудования, находящегося в эксплуатации (под наблюдением) за этот же период.

При таком расчете надежности становится возможным оценивать изменение технического состояния оборудования с увеличением наработки, определять сроки своевременного его восстановления или замены.

Ошибка в анализе надежности заключается в том, что в определенный момент ТПС находится, как правило, в разных межремонтных периодах, а исследуемое оборудование имеет различную наработку от начала эксплуатации (восстановления). Таким образом, в одном календарном периоде рассматривается оборудование с разным техническим состоянием. Если проследить изменение качественного показателя (числа отказов на 1 млн км) при таком подходе, то можно не увидеть некоторой тенденции к его увеличению или уменьшению. Этот показатель будет колебаться около некоторого среднего значения.

Полученный результат будет свидетельствовать о том, что наработки до отказа (между отказами) распределены по экспоненциальному закону, т. е. поток отказов является простейшим, а показатель безотказности – интенсивность отказов (параметр потока отказов) – будет постоянен, т. е. не увеличивается с увеличением наработки. В этом случае, кажется, что не имеет смысла проводить планово-предупредительный ремонт, а следует выполнять ремонт по состоянию, но это не так. С увеличением наработки технические свойства оборудования ухудшаются. Интенсивность ухудшения зависит от вида оборудования, условий эксплуатации и многих других факторов.

В процессе эксплуатации тягового подвижного состава накапливается огромный объем информации как о наработках до отказа и между отказами оборудования, так и о значениях контролируемых параметров. Эта информация фиксируется в различных документах и системах (паспорт локомотива, АСУТ, КАСАНТ и т.п.), но, с точки зрения анализа надежности, пользы от этой информации нет. Это происходит из-за отсутствия правильной систематизации исходной информации о техническом состоянии ТПС, о контролируемых и диагностируемых параметрах, о наработках до отказа и между отказами конкретного

оборудования в рамках существующей системы ремонта. Вся информация о техническом состоянии ТПС должна быть привязана к соответствующей наработке рассматриваемого оборудования на момент измерения контролируемого (диагностируемого) параметра или наступления его отказа с указанием его вида и причины [1].

Такой подход к информационному обеспечению позволит в процессе эксплуатации ТПС реализовать планы испытаний на надежность (N, U, T или N, R, T) [2]. Как известно, межремонтные пробеги ТПС до ремонта одного и того же объема разнесены во времени. Это делается, прежде всего, для равномерной загрузки ремонтных цехов. Если зафиксировать в соответствующих межремонтных периодах моменты отказов, то они также достаточно равномерно распределятся во времени. При ежемесячном расчете интенсивности отказов или параметра потока отказов, как это делается сейчас при эксплуатации оборудования, интенсивность (параметр потока) отказов будет являться постоянной величиной с увеличением наработки. Это – грубейшая ошибка при анализе эксплуатационной надежности, и проведение планового ремонта не только нецелесообразно, но и вредно.

На самом же деле естественно ухудшение технического состояния оборудования ТПС с увеличением его наработки, поэтому для правильной оценки показателей надежности оборудования по результатам его эксплуатации необходимо, прежде всего, представить межремонтные периоды ТПС и наработок до отказа и между отказами оборудования в масштабе наработки (рис. 1) [1, 4]. Это позволит увязать моменты отказов оборудования с величиной наработки, а также рассчитать для решения названных важных практических задач достоверные оценки показателей безотказности и долговечности, таких как: функция восстановления, расчетная функция распределения наработки до отказа, зависимость от наработки интенсивности отказов и параметра потока отказов оборудования ТПС в конкретных условиях его эксплуатации.

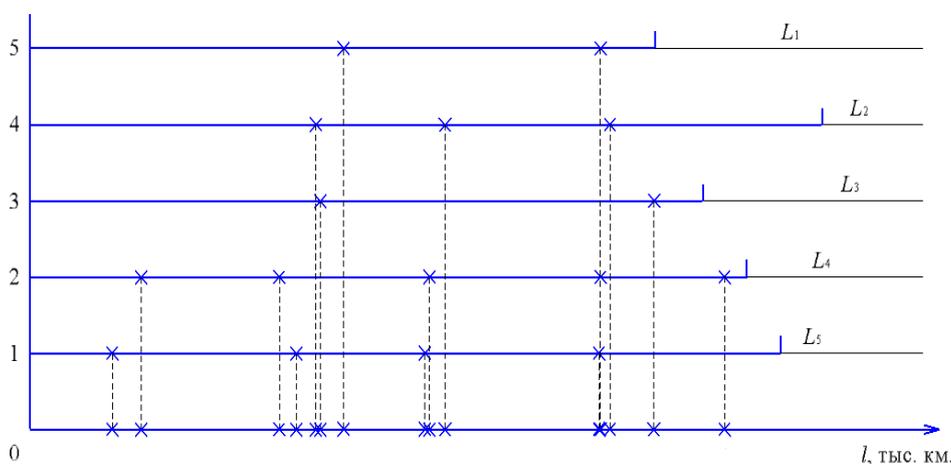


Рис. 1. Представление информации о наработках до отказа и между отказами одноименного оборудования ТПС в масштабе наработки:

L – величина межремонтного пробега; x – моменты отказов одноименного оборудования

РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БЕЗОТКАЗНОСТИ ОБЪЕКТА ПО ВЫБОРКЕ НАРАБОТОК ДО ОТКАЗА

Для оценки показателей безотказности невосстанавливаемых объектов в рамках заданной наработки T реализуется план испытаний на надежность (N, U, T) . В качестве исходной информации для расчетов выступает выборка наработок до отказа оборудования t_i , объем которой равен r , т. е. количеству отказавших объектов. Так как в течение периода испытаний T не все объекты отказывают, то выборка наработок до отказа для N объектов усечена справа моментом окончания испытаний [3], следовательно, количество объектов, для которых в течение периода испытаний T отказы не возникли, составляет $N - r$.

Исходя из полученной в результате таких испытаний информации, можно рассчитать оценку вероятности отказа испытываемого оборудования к моменту проведения окончания испытаний T , как:

$$Q^*(T) = \frac{r}{N}. \quad (1)$$

Упорядочив наработки до отказа для всех r отказавших объектов в вариационный ряд в порядке возрастания, строится зависимость оценки вероятности отказа от наработки $Q^*(t)$ в заданном периоде испытаний T (рис. 2).

По усеченной выборке рассчитывается и строится диаграмма интенсивности отказов (рис. 3). Для этого

период испытаний T разбивается на интервалы, подсчитывается число и вычисляется интенсивность отказов в каждом интервале:

$$\lambda^*(t) = \frac{\Delta n}{n(t) \cdot \Delta t}, \quad (2)$$

где: Δn – число отказов в интервале наработки Δt ;
 $n(t)$ – число объектов, работоспособных к началу рассматриваемого периода.

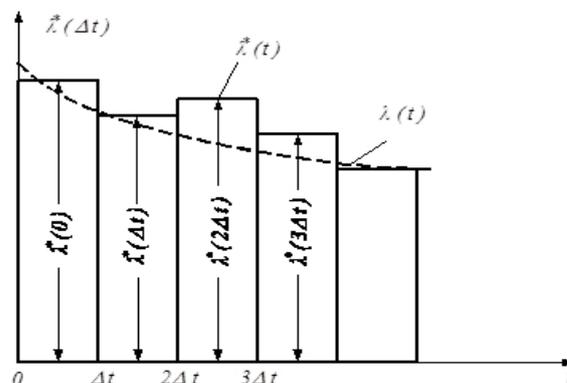


Рис. 3. Диаграмма интенсивности отказов

На основании полученных результатов оценивается изменение рассчитанных показателей безотказности в рассматриваемом периоде проведения испытаний (эксплуатации) объекта.

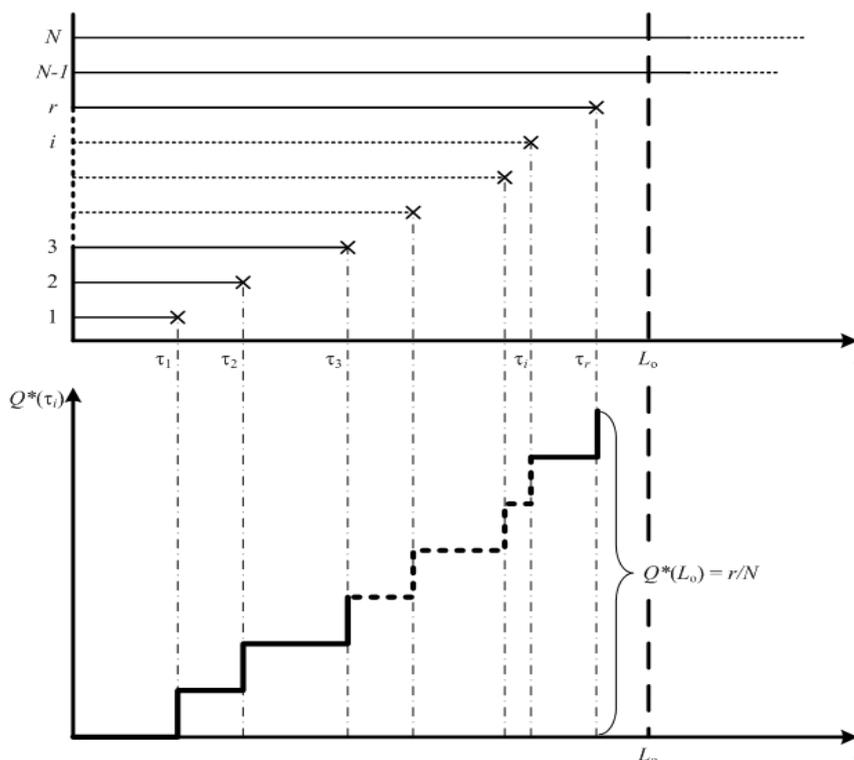


Рис. 2. Оценка вероятности отказа невосстанавливаемого объекта по усеченной выборке наработок до отказа

РАСЧЁТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БЕЗОТКАЗНОСТИ ОБЪЕКТА ПО ВЫБОРКЕ НАРАБОТОК МЕЖДУ ОТКАЗАМИ

В процессе эксплуатации оборудования тягового подвижного состава фактически реализуется план испытаний на надёжность $[N, R, T]$. Каждый объект из выборки N находится в эксплуатации (испытаниях) в течение наработки T [2]. Процесс функционирования объекта осуществляется следующим образом: после его работы в течение случайного времени (наработки) τ_1 возникает отказ, затем происходит восстановление или объект заменяется новым за время несоизмеримо меньшее, чем наработка до отказа τ_1 . После наработки τ_2 объект вновь отказывает в эксплуатации и его снова восстанавливают или заменяют однотипным работоспособным. Далее процесс развивается аналогично. Поскольку все отказы возникают под действием одних и тех же факторов, естественно предположить, что наработки между отказами $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_i, \dots, \tau_n$ имеют один и тот же закон распределения: $F(t) = \text{Вер}(\tau < t)$.

Время отказов

$$t_1 = \tau_1; t_2 = \tau_1 + \tau_2; \dots; t_n = \tau_1 + \tau_2 + \dots + \tau_n$$

образует случайный поток, связанный с процессом восстановления объекта, который оценивается следующими показателями безотказности: параметром потока отказов, средней наработкой на отказ и вероятностью безотказной работы.

Определение параметра потока отказов осуществляется в соответствии с функцией восстановления $H(t)$ — среднего числа отказов $m(t)$ одного объекта за наработку t .

$$H(t) = M(m(t)), \quad (3)$$

где $m(t)$ — число отказов одного объекта за наработку t .

Для опытного определения восстановления транспортного средства $H(t)$ наблюдают за N экземплярами однотипных объектов и фиксируют число отказов каждого из них в течение наработки T [3]. Оценка среднего числа отказов, приходящихся на один экземпляр рассматриваемого объекта за наработку T , определяется следующим образом:

$$\bar{m}(t) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N m_i(t), \quad (4)$$

где $m_i(t)$ — число отказов i -го объекта за наработку T .

По объединённому процессу восстановления, полученному в результате наложения N процессов конкретных объектов (например, колёс), можно графически представить функцию восстановления объекта $\bar{m}(t)$ (рис. 4).

Зависимость $m(t)$ — это ступенчатая линия, величина $\bar{m}(t)$ сохраняет постоянное значение в промежутке между отказами отдельных объектов и возрастает скачком на $1/N$ в момент очередного отказа.

Чем большее количество объектов будет поставлено под наблюдение, тем меньше будет интервал наработки Δt между соседними отказами и меньше окажется скачок $1/N$. В пределе, при $N \rightarrow \infty$ ступенчатая линия стремится к некоторой непрерывной и плавной кривой $H(t)$, которая и является ведущей функцией процесса восстановления, т.е.

$$H(t) = \lim_{N \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^N \frac{m_i(t)}{N}. \quad (5)$$

По функции восстановления ТПС определяется параметр потока отказов объекта:

$$\omega(t) = \frac{dH(t)}{dt}. \quad (6)$$

Этот параметр характеризует скорость нарастания числа отказов при различных значениях наработки. Статистическая оценка параметра потока отказов в интервале наработки Δt представляется следующим образом:

$$\omega^*(t) = \frac{\Delta m}{N \cdot \Delta t}. \quad (7)$$

Оценка параметра потока отказов осуществляется на основе информации о наработках между отказами N объектов. Для этого по наработкам между отказами отдельных объектов формируют объединённый процесс восстановления (см. рис. 4).

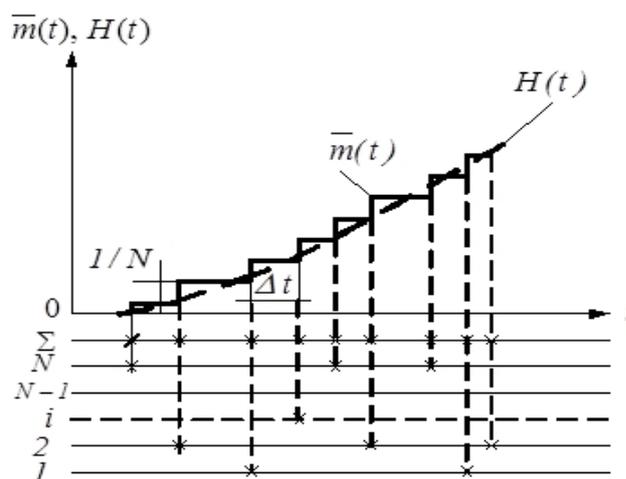


Рис. 4. Функция восстановления объекта

Период наблюдения T за объединённым процессом восстановления разбивают на более мелкие интервалы Δt [1]. По числу отказов Δm в каждом интервале наработки Δt определяют оценку параметра потока отказов $\omega^*(t)$ по формуле (7) (рис. 5).

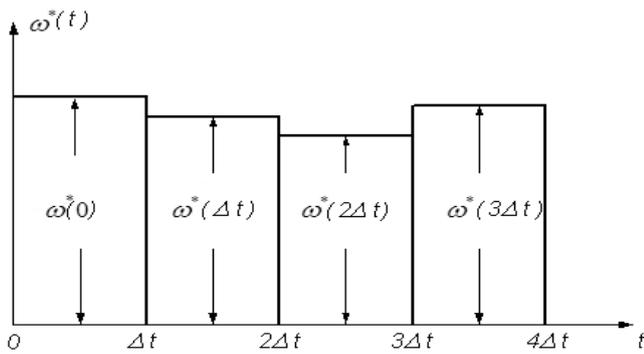


Рис. 5. Диаграмма потока отказов объекта

Статистическую оценку средней наработки между отказами можно определить по результатам эксплуатации (испытаний) ТПС в течение заданной наработки T одноименных N , восстанавливаемых (заменяемых) после отказа объектов [2].

По формуле (4) определяется оценка среднего числа отказов $\bar{m}(t)$, приходящихся на один объект за наработку T . Тогда оценка средней наработки между отказами будет:

$$T^* = \frac{T}{\bar{m}(t)}. \quad (8)$$

Если вид закона распределения наработки между отказами априори известен, то можно определить функцию вероятности безотказной работы $P(t)$.

* * *

По полученным значениям и зависимостям от наработки показателей безотказности объектов и созданной на этой основе базе данных можно решать различные задачи по совершенствованию конструкций, технологий изготовления, восстановления и эксплуатации системы технического обслуживания и ремонта.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горский А.В., Воробьев А.А. Оптимизация системы ремонта локомотивов. – М.: Транспорт, 1994. – 208 с.
2. Воробьев А.А., Горский А.В., Пузанков А.Д., Скребков А.В., Четвергов В.А., Швецов С.В. Надёжность подвижного состава: учебник. – М.: ФГБУ ДПО «УМЦ на жд. транспорте», 2017. – 300 с.
3. Воробьев А.А., Горский А.В., Козырев В.А., Лисенков А.Н., Шеремет Н.М. Эффективная система технического обслуживания и восстановления тягового подвижного состава // Конкурентоспособность в глобальном мире: экономика,

наука, технологии – 2016. – №9, ч. 2. – С. 36-40.

4. Скрипник В.М., Назин А.Е. Оценка надежности технических систем по цезурированным выборкам. – Минск: Наука и техника, 1981. – 143 с.
5. Резер С. М. Обеспечение безопасности и страхования рисков грузовых перевозок // Транспорт: наука, техника, управление (ВИНИТИ РАН). – 2016. – №5. – С. 3-11.
6. Елисеев С.Ю., Миронова О.В. Совершенствование системы управления железнодорожным транспортом, обслуживанием пассажиров и грузовладельцев // Транспорт: наука, техника, управление (ВИНИТИ РАН). – 2016. – №3. – С. 29-43.
7. Елисеев С.Ю., Шатохин А.А. Сокращение простоев грузовых вагонов в ожидании погрузки // Транспорт: наука, техника, управление (ВИНИТИ РАН). – 2016. – №5. – С. 19-22.
8. Туранов Х.Т., Молчанова О.В. Математические модели двухточечного контакта набегавшего колеса малонагруженной колёсной пары грузового вагона при воздействии пространственных систем сил // Транспорт: наука, техника, управление (ВИНИТИ РАН). – 2012. – №3. – С. 7-12
9. Крютченко В.Е. Амплитудно-фазовые координатные функции продольных колебаний транспортных средств // Транспорт: наука, техника, управление (ВИНИТИ РАН). – 2014. – № 7. – С.10-19
10. Косарев А.Б., Попов А.Ю., Сербиненко Д.В. Анализ влияния фильтров напряжения нулевой последовательности на показатели качества электрической энергии нетяговых потребителей при их питании от ВЛ10 кВ // Транспорт: наука, техника, управление (ВИНИТИ РАН). – 2012. – №3. – С.13-17.

Материал поступил в редакцию 15.01.19.

Сведения об авторах

ВОРОБЬЕВ Александр Алексеевич – доктор техн. наук, профессор, профессор кафедры «Электропоезда и локомотивы» Российского университета транспорта (РУТ – МИИТ), Москва
e-mail: miit_menagment@mail.ru

ГОРСКИЙ Анатолий Владимирович – доктор техн. наук, профессор, профессор кафедры «Электропоезда и локомотивы» РУТ – МИИТ
e-mail: miit_menagment@mail.ru

КОЗЫРЕВ Валентин Александрович – доктор техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Менеджмент и управление персоналом организации» РУТ – МИИТ
e-mail: miit_menagment@mail.ru