

DOI: 10.18721/JE.13301
УДК 65.01

«ЧЕТВЕРТАЯ ПРОМЫШЛЕННАЯ РЕВОЛЮЦИЯ» В СИСТЕМЕ ПРЕДМЕТНЫХ КАТЕГОРИЙ

Лычагин М.В.

Новосибирский государственный университет,
Новосибирск, Российская Федерация

Работа У. Ростоу в 1985 г. была первым исследованием, посвященным четвертой промышленной революции. Анализ публикационной активности на основе данных системы Scopus и научной электронной библиотеке elibrary.ru за 2011–2020 годы показывает значительный рост интереса исследователей к данной тематике. Изучение аннотаций и доступных полных текстов публикаций показывает, что наименее разработанным является анализ распределения этой тематики по отраслям знаний. Поэтому цель статьи — дать количественные оценки степени проникновения тематики «Четвертая промышленная революция» в отрасли знаний системы цитирования Scopus на макро- и микроуровнях классификации ASJC. Эта цель включает четыре взаимосвязанные исследовательские задачи. Первая задача — оценка для 27 макрокатегорий и их возможных взаимосвязей. Результатами стали две таблицы 27×27 , которые показывают абсолютное и относительное распределение публикаций по 27 макрокатегориям и их парным отношениям. Вторая задача — оценка для 15 микрокатегорий, входящих макрокатегории «Бизнес, менеджмент и бухгалтерский учет» и «Экономика, эконометрика и финансы». Результатом является таблица 15×15 с показателями абсолютного и относительно распределения публикаций по выделенным 15 микрокатегориям. Третья задача — оценка для 334 микрокатегорий ASJC без учета пересечений между микрокатегориями. Результатом является определение 94 микрокатегорий, которые пока не связаны с тематикой четвертой промышленной революции, и ранжирование остальных 210 категорий по числу публикаций и «коэффициенту индустриализации». Четвертая задача заключалась в разработке способа нахождения работ на пересечениях различных микрокатегорий. Приведены 24 работы по менеджменту и другим связанным микрокатегориям как иллюстрация созданного способа. Дискуссионные вопросы и направления возможных будущих исследований завершают статью. Информационная база включает 9810 публикаций, индексированных в Scopus, которые в названии, аннотации и ключевых словах содержали словосочетания «fourth industrial revolution» и «4th industrial revolution» или «industry 4.0». Автор статьи сделал лично все извлечения данных из Scopus и их обработку в период с 30 марта по 3 апреля 2020 г.

Ключевые слова: библиометрический анализ, «индустрия 4.0», терминология, публикационная активность, Scopus, классификация ASJC, тенденции исследований, новые направления

Ссылка при цитировании: Лычагин М.В. «Четвертая промышленная революция» в системе предметных категорий // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки. 2020. Т. 13, № 3. С. 7–26. DOI: 10.18721/JE.13301

Это статья открытого доступа, распространяемая по лицензии CC BY-NC 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

“THE FOURTH INDUSTRIAL REVOLUTION” IN THE SYSTEM OF SUBJECT CATEGORIES

M.V. Lychagin

Novosibirsk State University,
Novosibirsk, Russian Federation

The work by W. Rostow in 1985 was the first study on the Fourth Industrial Revolution. Analysis of publication activity based on data from the Scopus citation system and the Russian Scientific Electronic Library (elibrary.ru) for 2011–2020 shows researchers are significantly more interested in this topic. A study of abstracts and available full texts of publications shows that analysis of the distribution of this topic by branches of knowledge is the least developed field. Therefore, the goal of the article is to quantify the degree of penetration of the Fourth Industrial Revolution topic in the Scopus publications at the macro and micro levels of the ASJC classification. This goal includes four interrelated research tasks. The first task is to evaluate publications for 27 macro categories and their possible relationships. As a result, we obtained two 27×27 tables that show the absolute and relative distribution of publications by 27 macro categories and their paired relationships. The second task is an assessment for 15 micro categories included in the macro category “Business, Management and Accounting” and “Economics, Econometrics and Finance”. A 15×15 table with absolute and relative indices shows the distribution of publications in the selected 15 micro categories and their intersections. The third task is to evaluate publications for 334 ASJC micro categories without taking the intersections between micro categories into account. This resulted in identification of 94 micro categories that are out of the Fourth Industrial Revolution framework, and ranking of the remaining 210 categories according to the number of publications and the coefficients of penetration in the subject micro categories. The fourth task was to develop a method for finding papers at the intersections of various micro categories. The text presents 24 articles on management and other related micro categories that illustrate the created method. Discussion and directions for possible future research complete the article. The database includes 9810 publications indexed by Scopus, which in their titles, abstracts and keywords contained the phrases “fourth industrial revolution”, “4th industrial revolution” or “industry 4.0”. The author of the article personally did all the data extraction from Scopus and its processing from March 30 to April 3, 2020.

Keywords: bibliometric analysis, “Industry 4.0”, terminology, publication activity, Scopus, ASJC classification, research trends, new direction

Citation: M.V. Lychagin, “The fourth industrial revolution” in the system of subject categories, St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Economics, 13 (3) (2020) 7–26. DOI: 1018721/JE.13301

This is an open access article under the CC BY-NC 4.0 license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

Введение

Поиск по словам в названиях работ при помощи системы цитирования Scopus, проведенный 30 марта 2020 г., показал наличие 264 публикаций со словосочетанием “fourth industrial revolution” (далее FIR) (“четвертая промышленная революция”, реже “индустриальная”), 71 работ с вариантом “4th industrial revolution” (далее 4IR) и 2984 документов с аббревиатурой “industry 4.0” (далее I4.0). При дополнительном учете аналогичных словоупотреблений в аннотациях и ключевых словах найдено 1718, 392 и 8625 публикаций, соответственно.

Впервые рассматриваемое словосочетание появилось в 1985 г. в статье из сборника трудов У. Ростоу (W. Rostow) “Пятый Кондратьевский подъем и четвертая промышленная революция: их значение для лесного хозяйства” [1]. Хотя уже по самому названию эта работа затрагивает проблемы промышленности, однако экспертами Scopus она отнесена к наукам о Земле и наукам об окружающей среде.

Следующее употребление словосочетания FIR встречается в 2006 г. в названии главы в книге «Углеродные нанотехнологии» [2]. Отрасль знаний — «Химическая инженерия».

В 2011 г. опубликована статья [3], содержащая в аннотации словосочетание FIR и относящаяся к отрасли «Фармакология, токсикология и фармацевтика». Эта работа неожиданно актуальна с позиции пандемии COVID-19, поскольку в ней рассмотрено применение нанотехнологий для производства антибактериальной защитной одежды.

Три публикации 2012 г. примечательны тем, что впервые в Scopus наряду с естественной-техническими отраслями знаний появилась макрокатегория «Бизнес, менеджмент и бухгалтерский учет». Только к этой области отнесен доклад [4] несмотря на название «Исследование эволюции нанотехнологии». В статье [5] инженерный аспект представлен кибер-физическими системами, обсуждается их вписывание в происходящую индустриальную революцию.

Год 2013 знаменателен с трех сторон. Во-первых, по данным Scopus, начинается заметный ежегодный рост числа публикаций, которые только в названии (далее в списке — первое число в круглых скобках после номера года), а также в названии, аннотации и ключевых словах (далее — второе число в круглых скобках) имеют не менее одного из рассматриваемых трех англоязычных словосочетаний (FIR, 4IR, I4.0): 2012(1; 3), 2013(23; 36), 2014(55; 101), 2015(119; 221), 2016(240; 598), 2017(466; 1310), 2018(875; 2441), 2019(1275; 4340), 2020(257; 760) (на 30.03.2020). Итого за 2012–2020 гг.: 3311 работ для поиска по названиям, 9810 работ для расширенного варианта поиска.

Во-вторых, в 2013 г. впервые в Научной электронной библиотеке РФ в библиографическом описании появилось упоминание о «четвертой промышленной революции». Так же, как и в англоязычной литературе, интерес к этой проблематике стал нарастать по числу словоупотреблений в названиях и в названиях с добавлением аннотаций и ключевых слов: 2014(5; 5), 2015(3; 6), 2016(13; 43), 2017(29; 146), 2018(115; 280), 2019(23; 303), 2020(1; 19) (на 30.03.2020). Итого за 2013–2020 гг.: 189 работ по названиям, 803 работы для расширенного варианта поиска.

В-третьих, опубликован финальный доклад немецкой рабочей группы по стратегической инициативе «Индустрия 4.0» [6]. Этот доклад дал дополнительный импульс дискуссиям, которые нашли свое отражение в многочисленных публикациях в последующие годы.

Год 2014 положил начало публикациям по концепции «Индустрия 4.0», в названии которых содержится термин “review” (обзор). В докладе [7] обсуждаются «умные заводы» (Smart factories) и «интернет вещей» (internet of things) с позиции управления энергетикой (цитировано 285 раз).

Из четырех обзоров 2015 г. обращает на себя внимание доклад «Интеграция агентской технологии в предприятия обрабатывающей промышленности: обзор и платформа для индустрии 4.0» [8]. База данных исследования включала реферируемые статьи за 10 лет с 2003 по 2014 гг. в таких источниках, как Emerald, IEEE, Elsevier, Google Scholar, JSTOR, OCLC first search, ProQuest science technical, Sage journals online, EbscoHost, Springer link, Taylor and Francis и Wiley online. Список ссылок включает 81 единицу. На 68 из них даны ссылки в табл. 1 рассматриваемого доклада с указанием вида агентской системы, использованного инструмента, области применения и эмпирической оценки. Предложена схема включения «агентов» (специальных программ ЭВМ) в систему управления машиностроительным предприятием: поставка ресурсов, производство, заказы, контроль, искусственный интеллект, программное обеспечение и др.

По аналогии с предыдущим нарастание числа обзорных публикаций по годам выглядит следующим образом: 2015(2; 4), 2016(3; 6), 2017(9; 28), 2018(23; 55), 2019(39; 107), 2020(13; 27). Итого за 2014–2020 гг.: 90 работ по названиям, 228 работ для расширенного варианта поиска.

С 2017 г. в Scopus стали появляться публикации, в которых заявлено применение библиометрического анализа. Пока их только 20 для расширенного варианта поиска. Типовым приемом библиометрического анализа является выборка публикаций из базы данных по некоторым признакам (год публикации, автор, отрасль знаний, тип документа, название источника, ключевое слово и др.) и ранжирование по частоте употреблений, цитированию и т.п. Например, в докладе [9] проведен библиометрический анализ 333 статей и обзоров из Web of Science за 2012–2017 гг., извлеченных по наличию словосочетания “Industry 4.0”. В рамках данного направления выделено семь тем с указанием числа найденных документов и числом цитирований: кибер-физические системы, облачные вычисления, инновации, промышленная беспроводная сенсорная сеть, «умная» сеть электропередач, мультитехнологическая система знаний для решений.

Изучение аннотаций и доступных полных текстов публикаций, посвященных вопросам четвертой промышленной революции, показывает, что наименее разработанным является анализ распределения этой тематики по отраслям знаний. Авторы публикаций легко делают первый шаг: для некоторой выборки относительно исследуемого термина или словосочетания тер-

минов находят общее число документов с этими словами в названии или с добавлением других библиографических полей, а затем слева от результатов поиска заходят в раздел «Отрасль знаний», в котором в порядке уменьшения частот на английском языке приведены названия отраслей наук с соответствующими частотами в круглых скобках. Эти частоты переносятся в таблицы и(или) по ним строятся графики и диаграммы распределения.

После этого элементарного шага возможно движение по двум направлениям, которые, однако, до сих пор представлены в только в работе [10] в упрощенном варианте. Оба направления основаны на использовании системы Scopus и All Science Journal Classification Codes (ASJC) (Общенаучные журнальные классификационные коды). Первое направление («движение вширь») означает целенаправленный просмотр всех 27 макрокатегорий ASJC и выявление степени проникновения публикаций по четвертой промышленной революции как в сами макрокатегории, так и в их парные сочетания. Т.е., надо будет проанализировать $27 \times 27 / 2 = 364,5$ или 365 не повторяющихся сочетаний кодов макрокатегорий.

Второе направление («движение вглубь») представляет собой переход от 27 макрокатегорий ASJC к 334 микрокатегориям ASJC. В наиболее простом случае это будет анализ степени проникновения исследуемой тематики в каждую из 334 микрокатегорий. В более сложном случае предстоит работа с матрицей парных взаимосвязей, в которой 334 столбца и 334 строки, и 55778 ячеек, соответствующих неповторяющимся сочетаниям кодов микрокатегорий ASJC. Здесь возможны различные варианты углубления анализа. Например, выделить подмножество микрокатегорий, относящихся к бизнесу, менеджменту и экономике.

Представленные вводные предпосылки определили цель и научные задачи статьи.

Цель — дать количественные оценки степени проникновения тематики «Четвертая промышленная революция» в отрасли знаний системы цитирования Scopus на макро- и микроуровнях классификации ASJC.

Четыре взаимосвязанные исследовательские задачи по оценке указанного проникновения тематики, решаемые исходя из ограничений на объем обзорной статьи: 1) оценка для 27 макрокатегорий и их возможных взаимосвязей; 2) оценка для микрокатегорий: 11 в макрокатегории «Бизнес, менеджмент и бухгалтерский учет» и четырех в макрокатегории «Экономика, эконометрика и финансы» с учетом возможных пересечений этих микрокатегорий; 3) оценка для 334 микрокатегорий ASJC без учета пересечений между микрокатегориями (кроме случаев, рассмотренных во второй задаче); 4) приведение примеров работ на пересечениях различных микрокатегорий, интересных с позиции менеджмента и экономики.

Объект исследования — публикации в системе цитирования Scopus, посвященные четвертой промышленной революции. *Предмет исследования* — создание и апробация методики библиометрического оценивая выбранных публикаций на основе макро- и микроуровней предметной классификации ASJC с акцентом на вопросы менеджмента и экономики.

Методология исследования: общее

По сравнению с работой [10] выборка публикаций расширена за счет употребления словосочетаний не только в названии, но и в аннотации и ключевых словах, и включения в выборку кроме “industry 4.0” словосочетаний “fourth industrial revolution” и “4th industrial revolution”. Все извлечения данных из Scopus произведены в период с 30 марта по 3 апреля 2020 г. лично автором статьи.

Детализация методологии и результаты решения первой задачи — оценка для 27 макрокатегорий ASJC. Далее в списке для 27 макрокатегорий даны их коды и наименования (с возможными переводами на русский язык), потом в круглых скобках число микрокатегорий и общее число рассматриваемых работ с указанным кодом в выборке: 10 (1000) Multidisciplinary — Мульти-



дисциплинарные (1; 20). 11 Agricultural and Biological Sciences — Сельскохозяйственные и биологические науки (12; 87). 12 Arts and Humanities — Искусствоведение и гуманитарные науки (14; 135). 13 Biochemistry, Genetics and Molecular Biology — Биохимия, генетика и молекулярная биология (16; 131). 14 Business, Management and Accounting — Бизнес, управление и бухгалтерский учет (11; 1523). 15 Chemical Engineering — Химическая инженерия (9; 359). 16 Chemistry — Химия (8; 227). 17 Computer Science — Компьютерная наука (Вычислительная техника и информатика) (13; 5073). 18 Decision Sciences — Науки о принятии решений (5; 1283). 19 Earth and Planetary Sciences — Науки о Земле и планетах (14; 158). 20 Economics, Econometrics and Finance — Экономика, эконометрика и финансы (4; 375). 21 Energy — Энергетика (6; 633). 22 Engineering — Инженерия (17; 5826). 23 Environmental Science — Наука об окружающей среде (Экология) (13; 409). 24 Immunology and Microbiology — Иммунология и микробиология (7; 3). 25 Materials Science — Материаловедение (9; 938). 26 Mathematics — Математика (15; 1395). 27 Medicine — Медицина (49; 170). 28 Neuroscience — Нейрология (10; 11). 29 Nursing — Медицинское дело (24; 7). 30 Pharmacology, Toxicology and Pharmaceutics — Фармакология, токсикология и фармацевтика (6; 21). 31 Physics and Astronomy — Физика и астрономия (11; 975). 32 Psychology — Психология (8; 45). 33 Social Sciences — Социальные науки (23; 1013). 34 Veterinary — Ветеринария (5; 0). 35 Dentistry — Стоматология (7; 1). 36 Health Professions — Здравоохранение (17; 25).

Пример формулы поиска всех публикаций, одновременно относящихся к макрокатегориям 14 и 20: SUBJTERMS(14** AND 20**). Результат поиска: 511989 документов. Определение числа публикаций, посвященных проблематике четвертой промышленной революции, которые одновременно входят в макрокатегории 14 и 20: SUBJTERMS(14** AND 20**) AND TITLES-ABS-KEY("industry 4.0" OR "fourth industrial revolution" OR "4th industrial revolution"). Результат поиска: 237 документов. Результаты расчета этих показателей приведены в таблице 1. Буква "S" указывает на суммирование значений. Поскольку рассматриваемая тематика в макрокатегорию 34 еще не проникла, то строка и столбец для нее опущены. В результате осталось 676 ячеек для возможных пересечений кодов.

«Коэффициент индустриализации» (коэффициент проникновения) проблематики четвертой промышленной революции в публикации на пересечениях макрокатегорий 14 и 20 (в тысячных долях):

$$KI = 237 \times 100000 / 511989 = 46,4$$

Результаты расчета этих показателей приведены в табл. 2 с округлением до целого значений, больших 10. Жирным шрифтом выделены значения большие 100. "SR" — средние значения по строкам и столбцам.

Результаты расчетов в табл. 1 и 2 можно анализировать в движении по двум направлениям. Переходя от больших значений к меньшим, мы видим две макрокатегории с числом работ более 10 тысяч: 22 Инженерия (14479) и 17 Вычислительная техника и информатика (12322). Достижения в этой области неразрывно связаны с категорией 26 Математика (4775). Все это преобразует область 14 Бизнес, менеджмент и учет (4320) и 18 Науки о принятии решений (4056). И далее эти процессы, объединяемые для краткости понятием «Индустрия 4.0», влияют на другие области знаний (науки). В конце концов наше движение дойдет до области 34 Ветеринария с отсутствием публикаций. Эта область была бы первой при движении от меньших значений к большим. В любом случае возникает вопрос: если органы свиней могут быть пересажены человеку и в ряде случаев методы ветеринарии и медицины имеют схожесть, то почему концепция «Индустрия 4.0» не связана с ветеринарией?

Таблица 1. Число публикаций в Scopus, посвященных четвертой промышленной революции, по макрокатегориям ASJC
 Table 1. The number of publications in Scopus on the fourth industrial revolution according to ASJC macro categories

DE	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	35	36	S
10	20	1	0	1	0	0	0	9	0	0	0	0	4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	36
11	1	102	2	24	4	3	0	8	2	2	4	13	31	30	1	3	1	4	0	1	2	4	0	16	1	0	259
12	0	2	148	0	21	0	0	24	5	1	25	1	17	5	0	4	2	2	2	0	0	2	5	99	2	1	368
13	1	24	0	133	1	31	57	20	0	2	1	11	85	20	2	9	8	12	0	5	0	52	0	2	0	3	479
14	0	4	21	1	1562	8	3	343	687	3	237	61	863	102	4	23	124	29	0	1	0	11	23	209	0	1	4320
15	0	3	0	31	8	363	53	109	0	0	2	37	264	45	1	117	19	6	0	1	1	48	0	13	1	1	1123
16	0	0	0	57	3	53	229	6	0	4	2	4	131	5	1	125	8	7	0	0	0	86	0	1	1	0	723
17	9	8	24	20	343	109	6	5088	737	5	57	373	2791	123	19	261	1177	117	13	3	6	608	11	396	2	16	12322
18	0	2	5	0	687	0	0	737	1288	0	71	42	730	47	4	3	212	41	0	0	0	20	2	164	0	1	4056
19	0	2	1	2	3	0	4	5	0	158	0	48	57	58	6	8	4	1	0	0	1	15	0	6	0	0	379
20	0	4	25	1	237	2	2	57	71	0	375	5	91	26	0	2	42	6	0	0	0	0	1	146	0	1	1094
21	0	13	1	11	61	37	4	373	42	48	5	727	509	139	17	48	322	10	5	0	6	209	0	120	0	0	2707
22	4	31	17	85	863	264	131	2791	730	57	91	509	5832	218	27	773	849	89	7	3	5	687	0	398	4	14	14479
23	0	30	5	20	102	45	5	123	47	58	26	139	218	437	1	34	21	14	1	1	3	72	0	123	1	1	1527
24	0	1	0	2	4	1	1	19	4	6	0	17	27	1	49	7	8	0	0	0	1	5	0	2	0	0	155
25	0	3	4	9	23	117	125	261	3	8	2	48	773	34	7	973	110	7	1	0	0	201	0	8	0	1	2718
26	1	1	2	8	124	19	8	1177	212	4	42	322	849	21	8	110	1401	25	4	0	0	345	0	92	0	0	4775
27	0	4	2	12	29	6	7	117	41	1	6	10	89	14	0	7	25	211	5	9	3	20	6	59	7	6	696
28	0	0	2	0	0	0	0	13	0	0	0	5	7	1	0	1	4	5	19	1	0	5	1	3	0	0	67
29	0	1	0	5	1	1	1	3	0	0	0	0	3	1	0	0	0	9	1	16	0	0	2	2	0	1	46
30	0	2	0	0	0	1	0	6	0	1	0	6	5	3	1	0	0	3	0	0	28	0	0	0	0	1	57
31	0	4	2	52	11	48	86	608	20	15	0	209	687	72	5	201	345	20	5	0	0	972	0	100	0	0	3462
32	0	0	5	0	23	0	0	11	2	0	1	0	0	0	0	0	0	6	1	2	0	0	46	12	1	0	110
33	0	16	99	2	209	13	1	396	164	6	146	120	398	123	2	8	92	59	3	2	0	100	12	1013	7	5	2996
35	0	1	2	0	0	1	1	2	0	0	0	0	4	1	0	0	0	7	0	0	0	0	1	7	9	1	37
36	0	0	1	3	1	1	0	16	1	0	1	0	14	1	0	1	0	6	0	1	1	0	0	5	1	27	81
S	36	259	368	479	4320	1123	723	12322	4056	379	1094	2707	14479	1527	155	2718	4775	696	67	46	57	3462	110	2996	37	81	59072

DE — код макрокатегории ASJC.

Таблица 2. «Коэффициенты индустриализации» по макрокатегориям ASJC
 Table 2. “Coefficients of industrialization” according to ASJC macro categories

DE	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	35	36	SR	
10	1,6	0,4	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	14	0,0	0,0	0,0	0,0	6,0	0,0	0,0	0,0	2,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5
11	0,4	1,5	0,3	1,1	1,0	1,1	0,0	2,7	1,3	0,4	4,2	9,6	5,0	2,6	0,2	1,7	0,3	0,3	0,0	0,2	0,8	5,7	0,0	7,8	1,2	0,0	1,4	
12	0,0	0,3	2,7	0,0	7,6	0,0	0,0	8,7	5,1	0,5	16	1,5	4,5	2,3	0,0	2,8	0,6	0,1	0,4	0,0	0,0	2,1	1,5	5,3	8,2	1,3	2,5	
13	0,4	1,1	0,0	1,3	0,2	3,2	2,2	3,5	0,0	0,9	0,7	3,1	7,2	3,1	0,2	1,4	1,1	0,3	0,0	0,2	0,0	16	0,0	1,1	0,0	2,5	1,4	
14	0,0	1,0	7,6	0,2	4,2	3,6	0,6	125	143	2,4	46	58	173	31	4,1	13	87	1,9	0,0	0,6	0,0	11	22	42	0,0	0,9	39	
15	0,0	1,1	0,0	3,2	3,6	8,1	2,7	38	0,0	0,0	7,0	9,9	29	11	0,3	14	7,2	0,5	0,0	0,2	0,3	13	0,0	18	2,8	1,9	7,7	
16	0,0	0,0	0,0	2,2	0,6	2,7	2,5	1,3	0,0	2,4	2,8	1,1	13	0,8	0,5	5,6	1,9	0,3	0,0	0,0	0,0	5,8	0,0	0,8	2,7	0,0	2,6	
17	2,2	2,7	8,7	3,5	125	38	1,3	55	153	2,8	45	210	98	59	8,4	35	54	4,6	4,9	0,8	2,4	76	3,2	65	1,8	4,1	51	
18	0,0	1,3	5,1	0,0	143	0,0	0,0	153	49	0,0	83	66	258	33	4,3	3,0	62	2,4	0,0	0,0	0,0	65	3,4	179	0,0	1,7	49	
19	0,0	0,4	0,5	0,9	2,4	0,0	2,4	2,8	0,0	4,2	0,0	19	9,7	6,7	6,3	5,8	5,7	0,3	0,0	0,0	3,3	3,2	0,0	2,5	0,0	0,0	4,4	
20	0,0	4,2	16	0,7	46	7,0	2,8	45	83	0,0	25	12	165	42	0,0	8,2	74	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	43	0,0	3,3	27	
21	0,0	9,6	1,5	3,1	58	9,9	1,1	210	66	19	12	25	43	34	11	12	173	3,3	4,4	0,0	3,3	56	0,0	143	0,0	0,0	32	
22	18	5,0	4,5	7,2	173	29	13	98	258	9,7	165	43	37	26	9,0	21	54	6,6	3,3	0,5	2,0	24	0,0	91	14	19	38	
23	0,0	2,6	2,3	3,1	31	11	0,8	59	33	6,7	42	34	26	9,9	0,7	8,5	12	2,6	1,3	0,4	1,0	40	0,0	33	2,8	2,9	12	
24	0,0	0,2	0,0	0,2	4,1	0,3	0,5	8,4	4,3	6,3	0,0	11	9,0	0,7	1,7	3,5	1,2	0,0	0,0	0,0	0,4	3,3	0,0	5,5	0,0	0,0	1,6	
25	0,0	1,7	2,8	1,4	13	14	5,6	35	3,0	5,8	8,2	12	21	8,5	3,5	12	12	0,7	1,5	0,0	0,0	6,1	0,0	15	0,0	4,4	11	
26	7,1	0,3	0,6	1,1	87	7,2	1,9	54	62	5,7	74	173	54	12	1,2	12	23	2,0	2,6	0,0	0,0	32	0,0	86	0,0	0,0	27	
27	0,0	0,3	0,1	0,3	1,9	0,5	0,3	4,6	2,4	0,3	1,8	3,3	6,6	2,6	0,0	0,7	2,0	0,8	0,3	0,4	0,2	3,5	0,5	5,6	1,8	0,5	1,2	
28	0,0	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	4,9	0,0	0,0	0,0	4,4	3,3	1,3	0,0	1,5	2,6	0,3	0,6	0,2	0,0	19	0,3	4,0	0,0	0,0	0,7	
29	0,0	0,2	0,0	0,2	0,6	0,2	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,4	0,0	0,0	0,0	0,4	0,2	0,3	0,0	0,0	1,6	1,1	0,0	0,8	0,2	
30	0,0	0,8	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	2,4	0,0	3,3	0,0	3,3	2,0	1,0	0,4	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	0,4	
31	0,0	5,7	2,1	16,1	11	13	5,8	76	65	3,2	0,0	56	24	40	3,3	6,1	32	3,5	18	0,0	0,0	11	0,0	103	0,0	0,0	16	
32	0,0	0,0	1,5	0,0	22	0,0	0,0	3,2	3,4	0,0	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,3	1,6	0,0	0,0	1,9	2,4	4,3	0,0	1,8	
33	0,0	7,8	5,3	1,1	42	18	0,8	65	179	2,5	43	143	91	33	5,5	15	86	5,6	4,0	1,1	0,0	103	2,4	15	13	2,8	21	
35	0,0	1,2	8,2	0,0	0,0	2,8	2,7	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	14	2,8	0,0	0,0	0,0	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	4,3	13	1,2	2,1	1,9	
36	0,0	0,0	1,3	2,5	0,9	1,9	0,0	4,1	1,7	0,0	3,3	0,0	19	2,9	0,0	4,4	0,0	0,5	0,0	0,8	0,9	0,0	0,0	2,8	2,1	1,9	1,8	
SR	1,5	1,4	2,5	1,4	39	7,7	2,6	51	49	4,4	27	32	38	12	1,6	11	27	1,2	0,7	0,2	0,4	16	1,8	21	1,9	1,8	14	

Ячейки с нулевыми значениями в табл. 1 позволяют оценить и потенциал еще не задействованных связей между предметными микрообластями. Например, число «0» на пересечении столбца «14» со строкой «28» означает, что отсутствуют публикации, которые относились одновременно хотя бы к одной из 11 микрокатегорий макрокатегории 14 и к одной из 10 микрокатегорий макрокатегории 28. Т.е., если рассматривать матрицу возможных связей между микрокатегориями размерностью 334×334 , мы будем иметь фрагмент $11 \times 10 = 110$ еще не заполненных ячеек. С учетом идентичности двух треугольных сегментов этой матрицы число различных сочетаний кодов микрокатегорий составит 55.

Произведя подобным образом подсчет потенциальных свободных сочетаний микрокатегорий исходя из нулевых ячеек в табл. 1, мы получили 21558 парных сочетаний или 10779 непарных.

Рассмотрение коэффициентов в табл. 2 показывает, что при сохранении лидирующей роли макрокатегорий 17, 18 и 22, места между ними распределились по-другому: на первое место вышла 17 Вычислительная техника (59 единиц SR), на второе место 18 Принятие решений (49), на третье место 14 Бизнес, менеджмент и учет (39), а на четвертое место с первого переместилась 22 Инженерия (38).

Как и в географии, от табл. 1 — «карты мира науки» в целом, для более точной картины следует перейти к «картам отдельных областей» с большей детализацией. В нашем случае это макрокатегории 14 и 20.

Детализация методологии и полученных результатов второй исследовательской задачи — оценки для всех микрокатегорий, входящих в макрокатегории «Бизнес, менеджмент и бухгалтерский учет» и «Экономика, эконометрика и финансы». Коды и наименования на английском и русском языках для 11 микрокатегорий, на которые разбивается макрокатегория 14, и для четырех микрокатегорий, входящих в 20, следующие: 1400 General Business, Management and Accounting — Общий бизнес, менеджмент и учет. 1401 Business, Management and Accounting (miscellaneous) — Бизнес, менеджмент и учет (смешанное). 1402 Accounting — Бухгалтерский учет. 1403 Business and International Management — Бизнес и международный менеджмент. 1404 Management Information Systems — Информационные системы управления. 1405 Management of Technology and Innovation — Управление технологиями и инновациями. 1406 Marketing — Маркетинг. 1407 Organizational Behavior and Human Resource Management — Организационное поведение и управление человеческими ресурсами. 1408 Strategy and Management — Стратегия и менеджмент. 1409 Tourism, Leisure and Hospitality Management — Управление в сфере туризма, отдыха и гостиничного хозяйства. 1410 Industrial relations — Индустриальные отношения. 2000 General Economics, Econometrics and Finance — Экономика (экономическая наука), эконометрика и финансы. 2001 Economics, Econometrics and Finance (miscellaneous) — То же, смешанное. 2002 Economics and Econometrics — Экономика и эконометрика. 2003 Finance — Финансы.

Результаты расчета представлены в табл. 3. Для каждого кода в первой строке дано число документов, включающих сочетания FIR, 4IR и I4.0, а во второй строке «коэффициенты индустриализации» в промилле.

Буквы “В” означают, что в Scopus вообще нет публикаций, которые бы одновременно имели коды соответствующих строк и столбцов. В тех случаях, когда публикации с указанным сочетанием кодов имеются, но среди них нет ни одной работы с одним из поисковых сочетаний FIR, 4IR и I4.0, то в ячейке таблицы проставлено “0in”.

Таблица 3. Число публикаций и «коэффициенты индустриализации» для 15 микрокатегорий ASJC макрокатегорий 14 и 30
Table 3. The number of publications and “coefficients of industrialization” for 15 ASJC micro categories of the macro categories 14 and 20

DE	1400	1401	1402	1403	1404	1405	1406	1407	1408	1409	1410	2000	2001	2002	2003
1400	259	8	0in	19	B	3	B	2	13	1	B	113	1	27	1
1400	0,54	1,01	0in	0,24	B	0,11	B	0,26	0,43	4,81	B	0,73	5,62	0,24	0,11
1401	8	122	2	13	5	3	2	1	7	0in	0in	9	6	1	1
1401	1,01	1,24	0,36	1,03	15,02	2,74	1,53	0,21	2,12	0in	0in	6,37	0,32	0,34	0,11
1402	0in	2	9	6	0in	1	0in	1	1	B	B	1	3	0in	2
1402	0in	0,36	0,09	0,86	0in	1,55	0in	0,21	0,13	B	B	0,25	0,62	0in	0,03
1403	19	13	6	368	74	156	22	68	165	1	4	26	25	15	4
1403	0,24	1,03	0,86	1,00	3,87	2,52	0,46	5,54	1,84	0,12	0,57	3,27	2,78	0,24	0,30
1404	B	5	0in	74	177	34	3	5	38	1	6	0in	1	3	3
1404	B	15,02	0in	3,87	1,74	2,40	0,27	3,51	2,06	0,98	1,21	0in	0,97	2,95	4,48
1405	3	3	1	156	34	391	13	63	167	0in	3	12	9	2	0in
1405	0,11	2,74	1,55	2,52	2,40	1,34	1,20	2,08	1,62	0in	0,41	7,30	10,11	0,16	0in
1406	B	2	0in	22	3	13	47	5	23	1	0in	0in	1	9	3
1406	B	1,53	0in	0,46	0,27	1,20	0,24	0,81	0,73	0,21	0in	0in	0,69	0,50	0,54
1407	2	1	1	68	5	63	5	114	70	1	10	0in	0in	5	1
1407	0,26	0,21	0,21	5,54	3,51	2,08	0,81	0,80	1,98	0,87	0,86	0in	0in	0,35	0,59
1408	13	7	1	165	38	167	23	70	737	1	10	11	17	9	2
1408	0,43	2,12	0,13	1,84	2,06	1,62	0,73	1,98	1,67	0,10	0,36	2,57	2,61	0,27	0,09
1409	1	0in	B	1	1	0in	1	1	1	16	B	0in	0in	0in	0in
1409	4,81	0in	B	0,12	0,98	0in	0,21	0,87	0,10	0,22	B	0in	0in	0in	0in
1410	B	0in	B	4	6	3	0in	10	10	B	23	0in	0in	1	0in
1410	B	0in	B	0,57	1,21	0,41	0in	0,86	0,36	B	0,42	0in	0in	0,22	0in
2000	113	9	1	26	0in	12	0in	0in	11	0in	0in	176	1	0in	1
2000	0,73	6,37	0,25	3,27	0in	7,30	0in	0in	2,57	0in	0in	0,59	2,39	0in	0,12
2001	1	6	3	25	1	9	1	0in	17	0in	0in	1	80	0in	1
2001	5,62	0,32	0,62	2,78	0,97	10,11	0,69	0in	2,61	0in	0in	2,39	1,13	0in	0,31
2002	27	1	0in	15	3	2	9	5	9	0in	1	0in	0in	113	8
2002	0,24	0,34	0in	0,24	2,95	0,16	0,50	0,35	0,27	0in	0,22	0in	0in	0,16	0,06
2003	1	1	2	4	3	0in	3	1	2	0in	0in	1	1	8	15
2003	0,11	0,11	0,03	0,30	4,48	0in	0,54	0,59	0,09	0in	0in	0,12	0,31	0,06	0,07

Суммирование числа документов выводит на первое место микрокатегорию 1408 Стратегия и менеджмент (1271 единица). На втором месте 1403 Бизнес и международный менеджмент (966). На третьем месте 1405 Управление технологиями и инновациями. Далее идут коды: 1400 (447), 1404 (350), 2000 (350), 1407 (346), 2002 (193), 1401 (180), 2001 (145), 1406 (129), 1410 (57), 2003 (42), 1402 (26), 1409 (22).

Наибольшее среднее значение «коэффициента индустриализации» имеет 1404 Информационные системы управления (1,98). Затем следуют: 1405 (1,52), 1408 (1,47), 1407 (1,25), 1403 (1,2), 2001 (1,13), 1401 (1,07), 2000 (0,72), 1400 (0,49), 1410 (0,47), 1406 (0,38), 1409 (0,22), 2002 (0,17), 1402 (0,1) и 2003 (0,09).

Детализация методологии и полученных результатов третьей исследовательской задачи — оценка для 334 микрокатегорий ASJC без учета пересечений между микрокатегориями. В программе MS Excel был сделан лист, на котором в первом столбце были перечислены 334 кода микрокатегорий ASJC, а во втором столбце названия микрокатегорий на английском языке. Затем в окно расширенного поиска системы Scopus было введено выражение SUBJTERMS(1000) AND TITLE-ABS-KEY("industry 4.0" OR "fourth industrial revolution" OR "4th industrial revolution"). Результат поиска — 21 документ. Обозначим этот показатель через ND. Это число занесли в строку листа MS Excel с кодом 1000 в третий столбец. Затем оставляем в поисковом окне Scopus SUBJTERMS(1000) и находим, что в системе имеется 1273090 документов с кодом 1000. Заносим это число в четвертый столбец. Обозначим этот показатель через NS. В пятом столбце вычисляем соответствующее значение «коэффициента индустриализации» по формуле:

$$KI = ND / NS \times 100000 = 21 / 1273090 \times 100000 = 1,65$$

Аналогичные действия были выполнены для остальных 333 кодов микрокатегорий ASJC.

В результате оказалось, что 94 микрокатегории еще не имеют публикаций, которые по нашим критериям поиска можно отнести к тематике четвертой промышленной революции. Коды этих категорий: 1109, 1210, 1302, 1304, 1306, 1309, 1310, 1314, 1315, 1911, 2401, 2403, 2404, 2405, 2406, 2601, 2603, 2610, 2702, 2703, 2706, 2708, 2709, 2710, 2711, 2712, 2713, 2714, 2715, 2716, 2721, 2723, 2725, 2726, 2727, 2729, 2731, 2733, 2737, 2740, 2742, 2743, 2744, 2745, 2800, 2803, 2804, 2807, 2901, 2902, 2903, 2905, 2906, 2907, 2908, 2912, 2913, 2914, 2915, 2916, 2917, 2918, 2919, 2920, 2922, 2923, 3001, 3005, 3109, 3206, 3318, 3400, 3401, 3402, 3403, 3404, 3500, 3501, 3502, 3503, 3505, 3506, 3600, 3601, 3602, 3603, 3604, 3606, 3608, 3610, 3613, 3614, 3615, 3616.

Напомним, что первые две цифры в коде микрокатегории обозначают код макрокатегории, а последние две цифры — порядковый номер микрокатегории внутри макрокатегории. Иногда названия микрокатегорий в разных макрокатегориях могут совпадать.

Далее результаты будут приведены в порядке увеличения ND — числа публикаций с некоторым кодом. Внутри группы микрокатегории приводятся в порядке увеличения KI (число в круглых скобках после названия).

ND = 1. 36 кодов. 2730 Онкология (0,09). 3002 Создание лекарств (0,14). 2720 Гематология (0,20). 2724 Внутренняя медицина (0,22). 1908 Геофизика (0,22). 1902 Наука об атмосфере (0,28). 1904 Процессы на поверхности земли (0,32). 2900 Медсестринское дело: общее (0,33). 1505 Коллоидная и поверхностная химия (0,34). 3205 Экспериментальная и когнитивная психология (0,41). 1901 Науки о Земле и планетах (смешанное) (0,45). 2809 Сенсорные системы (0,45). 2400 Общая иммунология и микробиология (0,46). 2722 Гистология (0,51). 2747 Трансплантология (0,56). 2802 Поведенческая нейрология (0,58). 3302 Археология (0,75). 1204 Археология (0,75). 3504 Оральная хирургия (0,85). 2607 Дискретная математика и комбинаторика (0,93). 2911 Лидерство и менеджмент (1,02). 2806 Нейрология развития (1,24). 2302 Экологическое моделирование (1,33). 1205 Классика (1,58). 2910 Проблемы, этика и юридические аспекты (1,70). 1506 Фильтрация и сепарация (1,84). 3611 Фармацевтика (2,34). 3201 Психология (смешанное) (2,34). 1913 Стратиграфия (2,41). 1206 Консервация (3,27). 1504 Химическая безопасность (3,70). 1209 Музеология (3,84). 2801 Нейрология (смешанное) (4,21). 3609 Профессиональная терапия (4,35). 1301 Биохимия, генетика и молекулярная биология (смешанное) (6,29). 2904 Планирование медицинского ухода (12,88).

Последовательность значений KI можно аппроксимировать функцией $y = 0,1176e^{0,1101x}$ ($R^2 = 0,976$).

ND = 2. 19 кодов. 1307 Биология клетки (0,14). 3004 Фармакология (0,15). 2735 Педиатрия, перинатология и здоровье детей (0,21). 1103 Наука о животных и зоология (0,26). 2736 Фарма-

кология (медицинская) (0,26). 1604 Неорганическая химия (0,32). 1308 Клиническая биохимия (0,32). 1104 Аква наука (0,36). 2402 Прикладная микробиология и биотехнология (0,58). 1111 Почвоведение (0,59). 1910 Океанография (0,62). 3000 Общая фармакология, токсикология и фармацевтика (0,98). 2707 Комплементарная и альтернативная медицина (1,21). 2306 Глобальные и планетарные изменения (1,81). 2608 Геометрия и топология (2,06). 3607 Медицинская лабораторная технология (2,89). 3317 Демография (3,19). 2909 Геронтология (3,25). 2921 Психиатрическое умственное здоровье (3,79).

Аппроксимация КИ: $y = 0,1003e^{0,1946x}$ ($R^2 = 0,979$).

ND = 3. 11 кодов. 2705 Кардиология и кардиоваскулярная медицина (0,24). 2734 Патология и судебная медицина (0,49). 2808 Нейрология (0,67). 1607 Спектроскопия (0,68). 2748 Урология (0,80). 2719 Политика здравоохранения (0,90). 1603 Электрохимия (1,04). 3108 Радиация (1,15). 2717 Гериатрия и геронтология (1,48). 2704 Биохимия (медицинская). 2612 Числовой анализ (2,83). Аппроксимация КИ: $y = 0,2895e^{0,1891x}$ ($R^2 = 0,918$).

ND = 4. 7 кодов. 1503 Катализ (0,64). 3101 Физика и астрономия (смешанное) (0,96). 3612 Психотерапия, спортивная терапия и реабилитация (1,42). 3207 Социальная психология (1,63). 2805 Когнитивная нейрология (2,52). 1601 Химия (смешанное) (4,87). 1903 Компьютеры в науках о Земле (6,17).

ND = 5. 11 кодов. 1312 Молекулярная биология (0,25). 1105 Экология, эволюция, поведение и систематика (0,42). 2741 Медицинская радиология (0,47). 2732 Ортопедия и спортивная медицина (0,85). 1313 Молекулярная медицина (0,92). 3110 Поверхности и границы сред (1,35). 3203 Клиническая психология (1,40). 3102 Акустика и ультразвук (1,93). 2309 Сохранение природы и ландшафтов (2,69). 1101 Сельскохозяйственные и биологические науки (смешанное) (4,28). 2609 Логика (11,38).

Аппроксимация КИ: $y = 0,1855e^{0,3249x}$ ($R^2 = 0,953$).

ND = 6. 9 кодов. 1605 Органическая химия (0,43). 1311 Генетика (0,47). 2728 Клиническая нейрология (0,51). 3106 Ядерная физика и физика высоких энергий (0,82). 3200 Общая психология (1,5). 2502 Биоматериалы (2,1). 3314 Антропология (2,9). 1207 История и философия науки (3,2). 1905 Экономическая геология (9,7). Аппроксимация КИ: $y = 0,2168e^{0,3769x}$ ($R^2 = 0,946$).

В связи с уменьшением размера групп с одинаковым числом публикаций, далее мы увеличиваем размеры кластеров и несколько меняем форму отображения результатов. Теперь первое число после наименования микрообласти указывает на ND — количество документов с указанным ASJC кодом, а второе число — значение КИ.

ND = 7 ÷ 20. 37 кодов. 2746 Хирургия 7–0,4. 2738 Психиатрия и умственное здоровье 7–0,7. 1110 Растениеводство 7–0,8. 1212 Изучение религии 7–2,9. 3319 Изучение образа жизни 7–12,6. 3310 Лингвистика и языковедение 8–1. 1203 Языковедение и лингвистика 8–1. 1208 Литература и литературоведение 8–1,04. 2303 Экология 8–1,3. 3204 Психология развития и образования 8–2. 1102 Агрономия 9–1,4. 2701 Медицина (смешанное) 9–2. 2613 Статистика и теория вероятности 9–2,2. 1213 Изобразительное и исполнительское искусство 9–3,6. 1402 Бухгалтерский учет 9–8,9. 2700 Общая медицина 10–0,14. 2310 Выбросы в окружающую среду 13–2. 2307 Здоровье, токсикология и мутагенез 13–3,1. 3316 Культуроведение 13–3,1. 3103 Астрономия и астрофизика 14–2,9. 2104 Ядерная физика и техника 14–4. 2212 Океанская техника 14–5,1. 1912 Науки о космосе и планетах 15–2,4. 1107 Лесное хозяйство 15–5,7. 2003 Финансы 15–7,4. 2206 Компьютерная механика 15–10,8. 1202 История 16–2,7. 3322 Урбанистика 16–14,8. 2301 Наука об окружающей среде (смешанное) 16–21,7. 1409 Туризм, отдых и гостиничное хозяйство 16–22,3. 1804 Статистика, вероятность и неопределенность 17–10,2. 3605 Информационный менеджмент в здравоохранении 17–26,6. 3003 Фармацевтическая наука 18–2,9. 2304 Химия окружающей среды 18–3,4. 1200 Искусствоведение и гуманитарные науки (общее) 18–3,8. 1907 Геология 18–3,9. 3321 Государственное управление 20–16,4.

ND = 21 ÷ 100. 55 кодов. 1000 Многопрофильные 21–1,6. 3202 Прикладная психология 21–9,4. 1410 Индустриальные отношения 23–42,5. 2101 Энергетика (смешанное) 23–60,4. 1501 Химическая инженерия (смешанное) 24–27. 2216 Архитектура 25–17,5. 2503 Керамика и композиты 26–5,3. 1606 Физическая и теоретическая химия 28–1,8. 1300 Биохимия, генетика и молекулярная биология (общее) 28–2,2. 1106 Наука о пище 28–4. 1703 Вычислительная теория и математика 28–7,7. 2501 Материаловедение (смешанное) 28–19,8. 1201 Искусствоведение и гуманитарные науки (смешанное) 29–6,4. 2739 Здравоохранение: государственное и профессиональное 31–2,6. 1100 Сельскохозяйственные и биологические науки (общее) 32–3,8. 3311 Безопасность 32–46,6. 2605 Вычислительная математика 33–12,1. 1906 Геохимия и петрология 34–7,2. 1502 Биоинженерия 35–7,8. 3309 Библиотекведение и информатика 38–6,2. 2602 Алгебра и теория чисел 38–24,5. 1305 Биотехнология 39–5,32. 3306 Здоровье (социальные науки) 39–13,8. 1800 Науки о принятии решений (общее) 42–84,3. 2508 Поверхности, покрытия и пленки 43–5. 1211 Философия 43–13. 3315 Коммуникации 46–18,4. 1900 Науки о Земле и планетах (общее) 47–6. 3308 Законодательство 47–11,1. 1406 Маркетинг 47–24,1. 2103 Топливные технологии 50–9,8. 2100 Энергетика (общее) 50–19. 3320 Политология и международные отношения 51–15,8. 3313 Транспорт 52–34,5. 1602 Аналитическая химия 59–6,8. 3301 Социальные науки (смешанное) 60–26,6. 1303 Биохимия 64–2,3. 2312 Наука о водных ресурсах и технология 64–10,7. 2311 «Управление отходами» и вторичная переработка мусора 64–19,7. 1704 Компьютерная графика и дизайн 64–23,4. 2215 Строительство 66–14,7. 1801 Наука о принятии решений (смешанное) 66–335,3. 3303 Развитие (социальные науки) 68–32,7. 2300 Наука об окружающей среде (общее) 73–8,2. 1909 Геотехническая инженерия и инженерная геология 74–14,7. 2305 Инженерия окружающей среды 76–17,7. 3300 Социальные науки (общее) 77–9,6. 2718 Информатика здравоохранения 77–41. 3107 Атомная и молекулярная физика и оптика 78–6,3. 1508 Химия процессов и технология 78–35,6. 2001 Экономика, эконометрика и финансы (смешанное) 80–113,2. 2214 Медиа технологии 83–46. 2507 Полимеры и пластмассы 84–12,4. 3312 Социология и политология 95–10,6. 2604 Прикладная математика 98–6,1.

ND = 101 ÷ 500. 36 кодов. 3307 Человеческие факторы и эргономика–104–160. 2308 Менеджмент, мониторинг, политика и право (применительно к окружающей среде) 111–30. 2002 Экономика и эконометрика 113–16. 1407 Организационное поведение и управление человеческими ресурсами 114–80. 2600 Математика (общее) 120–15. 3305 География, планирование и развитие 120–18,6. 2201 Инженерия (смешанное) 120–65. 1401 Бизнес, менеджмент и учет (смешанное) 122–124. 1701 Компьютерная наука (смешанное) 123–123. 2504 Материалы для электроники и оптики 126–5,6. 3100 Физика и астрономия (общее) 127–6,3. 1600 Химия (общее) 129–4,8. 2505 Химия материалов 133–7,6. 3104 Физика конденсации 134–3,8. 2204 Биомедицинская инженерия 140–25,4. 2506 Металлы и сплавы 144–17,7. 1500 Химическая инженерия (общее) 145–10. 1507 Процессы в жидких и газообразных средах 162–69,5. 2205 Гражданская и структурная инженерия 162–22,8. 2000 Экономика, эконометрика и финансы (общее) 176–59,4. 1404 Управление информационными системами 177–174. 2202 Аэрокосмическая инженерия 180–30,4. 2105 Возобновляемая энергетика, устойчивость и окружающая среда 185–34,4. 2211 Механика материалов 204–12,6. 1711 Обработка сигналов 209–37,2. 2203 Автомобильная инженерия 238–78. 2614 Теоретическая компьютерная наука 247–32,8. 2611 Моделирование и имитация 254–38,3. 1400 Бизнес, менеджмент и учет (общее) 259–53,6. 1707 Компьютерные изображения и распознавание образов 272–61. 1709 Взаимодействие человека с ЭВМ 304–96. 3304 Образование 310–28. 1403 Бизнес и международный менеджмент 368–100. 1405 Управление технологиями и инновациями 391–134. 2102 Энергетические инженерия и технологии 433–40. 2213 Безопасность, риск, надежность и качество 447–85.

ND > 500. 18 кодов. 2500 Материаловедение (общее) 534–22,7. 1803 Управленческая наука и исследование операций 537–231. 1708 Компьютерное оборудование 617–102. 2606 Контроль и



оптимизация 668–230. 3105 Физические инструменты и приборы 668–83. 1802 Информационные системы и менеджмент 699–296. 1712 Программное обеспечение 705–52,5. 1408 Стратегия и менеджмент 737–167. 1710 Информационные системы 792–109. 2210 Механическая инженерия 820–32. 2200 Инженерия (общее) 968–27. 1702 Искусственный интеллект 1191–163. 1700 Компьютерная наука (общее) 1274–109. 1706 Применения компьютерной науки 1435–67. 2208 Электрическая и электронная инженерия 1450–33. 1705 Компьютерные сети и коммуникации 1584–119. 2207 Инженерия контроля и систем 1602–135. 2209 Техника для обрабатывающей промышленности 2138–179.

Выводы по третьей исследовательской задаче

Из 334 микрокатегорий ASJC 94 на момент извлечения данных не имели связей с тематикой четвертой промышленной революции исходя из предпосылок анализа. Т.е. в 240 микрокатегориях, или в 72% от общего числа, эта тематика присутствовала в различной степени. По случайному совпадению следующие 94 микрокатегории имели число публикаций от одной по шести включительно. Если взять первые 210 кодов с ненулевыми значениями ND, разместить их в порядке увеличения ND и подобрать аппроксимирующую кривую, то с большой степенью точности для аппроксимации значений числа публикаций подойдет экспоненциальная функция $y = 0,5767e^{0,0273x}$ ($R^2 = 0,9923$). Для оставшихся 30 значений ND лучше подойдет функция $y = 198,05e^{0,0758x}$ ($R^2 = 0,9853$).

Если теперь снова вернуться к файлу с расчетами и проранжировать микрокатегории по увеличению KI, то первые 210 значений от 0,09 до 53,6 включительно, можно опять аппроксимировать с большой точностью экспонентой $y = 0,2201e^{0,0256x}$ ($R^2 = 0,9924$). Следующие 26 значений от 59,4 до 178,6 включительно можно аппроксимировать также экспонентой $y = 55,07e^{0,0436x}$ ($R^2 = 0,9907$). Следующие три микрокатегории выбиваются из общего ряда, поскольку имеют значения KI более 200 единиц: 2606 Контроль и оптимизация 668–**230**. 1803 Управленческая наука и исследование операций 537–**231**. 1802 Информационные системы и менеджмент 699–**296**. И в завершение списка идет чемпион: 1801 Наука о принятии решений (смешанное) 66–**335**.

Попытки найти достаточно надежные статистические зависимости между значениями ND и KI успехом не увенчались.

Детализация методологии и приведение примеров работ на пересечениях различных микрокатегорий, интересных с позиции менеджмента и экономики (четвертая исследовательская задача). Приведенные данные показывают, проблематика четвертой промышленной революции охватывает большую сумму кодов предметных микрокатегорий, чем число публикаций. Другими словами, есть немало работ, которые относятся одновременно к нескольким предметным областям. Если рассматривать макрокатегории, то из данных таблицы 1 можно увидеть, что к рассматриваемой проблематике относится не менее 1562 публикаций из макрокатегории 14 Бизнес, менеджмент и учет. Из них 863 работы связаны с макрокатегорией 22 Инженерия. Но возникает вопрос: какие именно из 11 микрокатегорий, входящих в макрокатегорию 14, связаны (и с какими именно) с 17 микрокатегориями, принадлежащим к макрокатегории 22? К сожалению, для решения этой задачи найти четких рекомендаций в Scopus не удалось. Единственное, что можно посоветовать для того, чтобы не перебирать все 187 возможных сочетаний кодов, это, во-первых, начать с микрокатегорий с наибольшим числом работ, и, во-вторых, выбирать микрокатегории, названия которых ближе всего к базовым понятиям концепции «Индустрия 4.0».

Руководствуясь этим способом, мы взяли микрокатегории 1408 Стратегия и менеджмент и 2209 Промышленная инженерия. Удалось найти 12 статей, которые относились не только выбранным двум категориям, но также к микрокатегориям 2105 Возобновляемая энергия, устойчивость и окружающая среда и 2300 Наука об окружающей среде (общее).

В статье [11] рассматривается конфликт между устойчивостью цепи поставок и конкурентоспособностью предприятий. На основе концепции «Индустрия 4.0» предложена схема логистического кластера для уменьшения влияния рассматриваемого конфликта. Эта схема проиллюстрирована на примере логистической сети ЕС с акцентом на Литву.

В работе [12] коллектив авторов из Индии предложил набор оптимизационных моделей с 14 оценочными критериями для решения задачи пространственного размещения предприятий.

В статье [13] в центре внимания находятся три вида экологических инноваций: продукта, процесса и организационные. Они рассмотрены с позиции кооперации в области исследований и разработок (включая интернационализацию) и получаемых социально-экономических результатов. Используются данные 221 производителя электротехнических и электронных изделий в Бразилии.

Статья [14] привлекает внимание оригинальным соединением нескольких интересных элементов: 1) бурный рост производства двухколесных автомобилей в Китае, Таиланде и Индии (приведен пример предприятия из этой страны); 2) пути сокращения конверсионных затрат в машиностроении (возвратные отходы, расход инструментов и т.п.); 3) интеграция систем «определение-измерение-анализ-улучшение-контроль», контроля качества и цифровизации с сопоставлением их элементов в табл. 1 статьи; 4) набор иллюстративных схем и таблиц для конкретного предприятия.

Статья [15] — это обзор возникающих технологий ремануфактуризации в рамках концепции «Индустрия 4.0». Семь оригинальных и модифицированных схем удачно иллюстрируют авторский метод исследования, факторы и основные элементы обсуждаемых технологий.

Работа [16] описывает авторское видение развитие известной системы ERP (Enterprise Resource Planning — дословно «Предприятие ресурсы планирование») в направлении устойчивости. Шаги преобразований детализированы в большой табл. 3 рассматриваемой статьи.

В центре внимания статьи [17] находится цепь поставок судостроительного предприятия согласно модели «Индустрия 4.0». Показано, как эта цепь согласуется с парадигмами «бережливого», «зеленого» и других производств и внедрением автономных роботов, «интернета вещей», «облачных вычислений», «больших данных», «искусственного интеллекта» и других нововведений.

Статья [18] содержит результаты интересного библиометрического и содержательного анализа концепции «Индустрия 4.0» под углом зрения следующих «функций устойчивости»: 1) новизна бизнес-модели и инновации, 2) уменьшение эмиссии и вреда углекислого газа, 3) рост прибыльности корпорации, 4) экономическое развитие, 5) энергетическая и ресурсная устойчивость, 6) сохранение окружающей среды, 7) развитие человеческих ресурсов, 8) рост эффективности производства, 9) создание рабочих мест, 10) сокращение производственных затрат, 11) гибкость производства, 12) модульность производства, 13) персонализация продукта, 14) управление риском, 15) цифровизация и интеграция цепей поставок, 16) улучшение социального благосостояния.

В статье [19] снова встречаем библиометрический анализ литературы в позиции устойчивости систем поставок. Но на это раз рассматривается автомобилестроение. Работа [20] интересна сопоставлением направлений в рамках концепции «Индустрия 4.0» и моделей управления качеством. В статье [21] обсуждается связь индустрии 4.0 с системой учета и отчетности устойчивости (sustainability accounting and reporting).

Обзор литературы [22] имеет две исследовательских цели. Первая цель — представить социотехническое определение концепции индустрии 4.0 на основе широко признанных публикаций с 2013 по 2018 гг. Вторая цель — исследовать, в какой степени аспекты устойчивости включены в современное понимание концепции индустрии 4.0.

Очень кратко отметим некоторые интересные работы на пересечениях управленческих микрообластей и других микрообластей знаний.



1401 Бизнес, менеджмент и учет (смешанное) + 1403 Бизнес и международный менеджмент + 1106 Наука о пище. В статье [23] рассматривается связь «точных» технологий современного агробизнеса и цифровизация с позиции индустрии 4.0.

1404 Информационные системы управления + 1201 Искусствоведение и гуманитарные науки (смешанное) + 1802 Информационные системы управления + 3204 Психология развития и образования. В статье [24] предлагается для поддержки принятия решений в управлении бизнес процессами шире использовать модели взаимосвязей между процессами и запросы системы с предложением возможных вариантов из банка решений.

1405 Управление технологиями и инновациями + 1508 Химические процессы и технологии. Доклад [25] на симпозиуме по процессам развития показывает, что индустрия 4.0 затрагивает и химические процессы.

В «Журнале самоуправления и управленческой экономики» в 2019 г. было опубликовано 12 статей, которые эксперты Scopus отнесли к микрокатегориям 1403 Бизнес и международный менеджмент и 1211 Философия. Восемь статей [26–33] в названиях имеют словосочетание “industry 4.0” и другие термины, которые вряд ли можно отнести к философским с точки зрения российского читателя: «умные кибер-физические системы», «устойчивые сети и цепи поставок», цифровизация, «аналитика больших данных» и другое.

Десять публикаций в разных изданиях, затрагивающих тематику индустрии 4.0, отнесено в Scopus к пересечению микрокатегорий 1405 Управление технологиями и инновациям и 1702 Искусственный интеллект.

Можно привести еще десятки подобных примеров.

Общие выводы, дискуссионные вопросы и возможные направления исследований

В проведенном исследовании показано, что при помощи системы цитирования Scopus и предметной классификации ASJC можно строить межпредметные (межотраслевые) балансы публикаций для уровней макро и микрокатегорий классификации ASJC, а также аналогичные балансы для публикаций по определенной тематике. В качестве маркеров (определителей) этой тематики могут выступать отдельные термины и их сочетания. В настоящей статье были выбраны англоязычные словосочетания “fourth industrial revolution”, “4th industrial revolution” и “industry 4.0” в названиях, аннотациях и ключевых словах. На основе исчисления отношений частот словоупотреблений в тематической выборке к числу публикаций в матрице межпредметного баланса можно определить степень охвата (проникновения) изучаемой тематики в отдельные предметные области (категории) и пересечения этих областей. Одновременно можно получить информацию о еще не задействованных категориях, которые можно трактовать как «точки роста исследований».

Бурный рост числа исследований по проблеме «Индустрия 4.0» вызывал и рост числа дискуссионных вопросов, в частности, касающихся самого понимания концепции «Индустрия 4.0». Часть из них сформулирована в статье [34] (в печати). Другие возникают, когда еще раз открываешь текст финального доклада немецких специалистов [6] и сопоставляешь с современными публикациями. В частности, в докладе «Индустрия 4.0» кроме «интернета вещей» указываются «интернет услуг» и «интернет людей». Но если первый вид в литературе представлен значительно, то два остальных вида в десятки и сотни раз меньше.

В качестве важных элементов (подсистем) в «Индустрии 4.0» выделяют “Big data”, “Digitalization”, “Cloud computing”, “Internet of things” и “Cyber physical systems”. Публикации в Scopus с указанными словосочетаниями в названиях работ появились ранее 2012 г., т.е. до опубликования доклада по «Индустрии 4.0». Если лидером публикаций по теме “Industry 4.0” является Германия, то работ по «кибер-физическим системам» больше всего сделано исследователями из США.

В перспективе, на наш взгляд, было бы интересно, используя представленный в данной статье аналитический инструментарий на основе классификации ASJC, оценить распределение по предметным областям других ключевых понятий четвертой промышленной революции и библиометрические связи между ними.

Тематика «Индустрии 4.0» применима и для развития высшего профессионального образования, поскольку имеется много точек соприкосновения учебных курсов по разным направлениям подготовки кадров. И почему бы в будущем не наложить систему учебных планов и программ политехнического или другого университета на межпредметный баланс публикаций Scopus? Вполне возможно, что на выходе будет ряд интересных и полезных результатов для науки, образования и реального бизнеса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Rostow W.W.** The fifth Kondratieff upswing and the fourth industrial revolution: their meaning for forestry. *Investments in forestry*, 1985, pp. 11–19.
2. **Dai L.** From conventional technology to carbon nanotechnology. The fourth industrial revolution and the discoveries of C60, carbon nanotube and nanodiamond. *Carbon Nanotechnology*, 2006, pp. 3–11. DOI: 10.1016/B978-044451855-2/50004-8
3. **Parthasarathi V., Thilagavathi G.** Synthesis and characterization of Zinc oxide nanoparticle and its application on fabrics for microbe resistant defensive clothing. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 2011, no. 4, pp. 392–398.
4. **Hung S.-W., Wang A.-P., Chang C.-C.** Exploring the evolution of nano technology. 2012 Proceedings of Portland International Center for Management of Engineering and Technology: Technology Management for Emerging Technologies, PICMET'12, 2012, no. 6304277, pp. 2598–2604.
5. **Ahrens V.** Inflation of industrial revolution. *Productivity Management*, 2012, no. 5, pp. 30–31.
6. **Kagermann H., Wahlster W., Helbig J.** Recommendations for Implementing the Strategic Initiative Industrie 4.0. Final Report of the Industrie 4.0 Working Group, 2013. URL: <https://www.din.de/blob/76902/e8cac883f42bf28536e7e8165993f1fd/recommendations-for-implementing-industry-4-0-data.pdf> (дата обращения: 01.04.2020).
7. **Shrouf F., Ordieres J., Miragliotta G.** Smart factories in Industry 4.0: A review of the concept and of energy management approached in production based on the Internet of Things paradigm. 2014 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, 2014, no. 7058728, pp. 697–701. DOI: 10.1109/IEEM.2014.7058728
8. **Adeyeri M.K., Mpofu K., Adenuga Olukorede T.** Integration of agent technology into manufacturing enterprise: A review and platform for industry 4.0. IEOM 2015 – 5th International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, 2015, no. 7093910. DOI: 10.1109/IEOM.2015.7093910
9. **Cobo M.J., Jürgens B., Herrero-Solana V., Martínez M.A., Herrera-Viedma E.** Industry 4.0: A perspective based on bibliometric analysis. *Procedia Computer Science*, 2018, no. 139, pp. 364–371. DOI: 10.1016/j.procs.2018.10.278
10. **Лычагин М.В.** «Индустрия 4.0» через линзы и призмы библиометрии и обзоров // *Цифровая экономика и Индустрия 4.0: форсайт Россия*. Сб. трудов научно-практической конференции с зарубежным участием, 26–28 марта 2020 г. В 2 т. Т. 1. СПб.: Политех-Пресс, 2020. С. 202–220.
11. **Gružauskas V., Baskutis S., Navickas V.** Minimizing the trade-off between sustainability and cost effective performance by using autonomous vehicles. *Journal of Cleaner Production*, 2018, no. 184, pp. 709–717. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.02.302
12. **Kumar R., Singh S.P., Lamba K.** Sustainable robust layout using Big Data approach: A key towards industry 4.0. *Journal of Cleaner Production*, 2018, no. 204, pp. 643–659. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.08.327
13. **Tumelero C., Sbragia R., Evans S.** Cooperation in R & D and eco-innovations: The role in companies' socioeconomic performance. *Journal of Cleaner Production*, 2018, no. 207, pp. 1138–1149. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.09.146
14. **Shivajee V., Singh R.K., Rastogi S.** Manufacturing conversion cost reduction using quality control tools and digitization of real-time data. *Journal of Cleaner Production*, 2019, no. 237, 117678. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.117678

15. **Kerin M., Pham D.T.** A review of emerging industry 4.0 technologies in remanufacturing. *Journal of Cleaner Production*, 2019, no. 237, 117805. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.117805
16. **Chofreh A.G., Goni F.A., Klemeš J.J., Malik M.N., Khan H.H.** Development of guidelines for the implementation of sustainable enterprise resource planning systems. *Journal of Cleaner Production*, 2020, no. 244, 118655. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.118655
17. **Ramirez-Peña M., Sánchez Sotano A.J., Pérez-Fernandez V., Abad F.J., Batista M.** Achieving a sustainable shipbuilding supply chain under I4.0 perspective. *Journal of Cleaner Production*, 2020, no. 244, 118789. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.118789
18. **Ghobakhloo M.** Industry 4.0, digitization, and opportunities for sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 2020, no. 252, 119869. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.119869
19. **Yadav G., Luthra S., Jakhar S.K., Mangla S.K., Rai D.P.** A framework to overcome sustainable supply chain challenges through solution measures of industry 4.0 and circular economy: An automotive case. *Journal of Cleaner Production*, 2020, no. 254, 120112. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.120112
20. **Asif M.** Are QM models aligned with Industry 4.0? A perspective on current practices. *Journal of Cleaner Production*, 2020, no. 258, 120820. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.120820
21. **Tiwari K., Khan M.S.** Sustainability accounting and reporting in the industry 4.0. *Journal of Cleaner Production*, 2020, no. 258, 120783. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.120783
22. **Beier G., Ullrich A., Niehoff S., Reißig M., Habich M.** Industry 4.0: How it is defined from a sociotechnical perspective and how much sustainability it includes – A literature review. *Journal of Cleaner Production*, 2020, no. 259, 120856. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.120856
23. **Trivelli L., Apicella A., Chiarello F., Rana R., Fantoni G., Tarabella A.** From precision agriculture to Industry 4.0: Unveiling technological connections in the agrifood sector. *British Food Journal*, 2019, no. 8, pp. 1730–1743. DOI: 10.1108/BFJ-11-2018-0747.
24. **Polyvyanyy A., Ouyang C., Barros A., van der Aalst W.M.P.** Process querying: Enabling business intelligence through query-based process analytics. *Decision Support Systems*, 2017, no. 100, pp. 41–56. DOI: 10.1016/j.dss.2017.04.011
25. **Joswiak M.** Chemical process data science for industry 4.0. *Process Development Symposium 2019: Developing Processes for Today and Tomorrow*, 2019, pp. 53–54.
26. **Tuffnell C., Kral P., Durana P., Krulicky T.** Industry 4.0-based manufacturing systems: Smart production, sustainable supply chain networks, and real-time process monitoring. *Journal of Self-Governance and Management Economics*, 2019, no. 2, pp. 7–12. DOI: 10.22381/JSME7220191
27. **Lafferty C.** Sustainable industry 4.0: Product decision-making information systems, data-driven innovation, and smart industrial value creation. *Journal of Self-Governance and Management Economics*, 2019, no. 2, pp. 19–24. DOI: 10.22381/JSME7220193
28. **Bourke E.** Smart production systems in industry 4.0: Sustainable supply chain management, cognitive decision-making algorithms, and dynamic manufacturing processes. *Journal of Self-Governance and Management Economics*, 2019, no. 2, pp. 25–30. DOI: 10.22381/JSME7220194
29. **Hayhoe T., Podhorska I., Siekelova A., Stehel V.** Sustainable manufacturing in industry 4.0: Cross-sector networks of multiple supply chains, cyber-physical production systems, and AI-driven decision-making. *Journal of Self-Governance and Management Economics*, 2019, no. 2, pp. 31–36. DOI: 10.22381/JSME7220195
30. **Cosgrave K.W.** The smart cyber-physical systems of sustainable industry 4.0: Innovation-driven manufacturing technologies, creative cognitive computing, and advanced robotics. *Journal of Self-Governance and Management Economics*, 2019, no. 3, pp. 7–13. DOI: 10.22381/JSME7320191
31. **Ludbrook F., Michalikova K.F., Musova Z., Suler P.** Business models for sustainable innovation in industry 4.0: Smart manufacturing processes, digitalization of production systems, and data-driven decision making. *Journal of Self-Governance and Management Economics*, 2019, no. 3, pp. 21–26. DOI: 10.22381/JSME7320193
32. **Nica E.** Cyber-physical production networks and advanced digitalization in industry 4.0 manufacturing systems: Sustainable supply chain management, organizational resilience, and data-driven innovation. *Journal of Self-Governance and Management Economics*, 2019, no. 3, pp. 27–33. DOI: 10.22381/JSME7320194
33. **Gradeck J., Neguriță O., Grecu I., Grecu G.** Big data analytics in industry 4.0: Sustainable industrial value creation, manufacturing process innovation, and networked production structures. *Journal of Self-Governance and Management Economics*, 2019, no. 3, pp. 34–40. DOI: 10.22381/JSME7320195

34. **Culot G.** et al. Behind the definition of Industry 4.0: Analysis and open questions. *International Journal of Production Economics*, In print. DOI: 10.1016/j.ijpe.2020.107617

REFERENCES

1. **W.W. Rostow**, The fifth Kondratieff upswing and the fourth industrial revolution: their meaning for forestry. *Investments in forestry*, 1985, pp. 11–19.
2. **L. Dai**, From conventional technology to carbon nanotechnology. The fourth industrial revolution and the discoveries of C60, carbon nanotube and nanodiamond. *Carbon Nanotechnology*, 2006, pp. 3–11. DOI: 10.1016/B978-044451855-2/50004-8
3. **V. Parthasarathi, G. Thilagavathi**, Synthesis and characterization of Zinc oxide nanopartilce and its application on fabrics for microbe resistant defensive clothing. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 2011, no. 4, pp. 392–398.
4. **S.-W. Hung, A.-P. Wang, C.-C. Chang**, Exploring the evolution of nano technology. 2012 Proceedings of Portland International Center for Management of Engineering and Technology: Technology Management for Emerging Technologies, PICMET'12, 2012, no. 6304277, pp. 2598–2604.
5. **V. Ahrens**, Inflation of industrial revolution. *Productivity Management*, 2012, no. 5, pp. 30–31.
6. **H. Kagermann, W. Wahlster, J. Helbig**, Recommendations for Implementing the Strategic Initiative Industrie 4.0. Final Report of the Industrie 4.0 Working Group, 2013. URL: <https://www.din.de/blob/76902/e8cac883f42bf28536e7e8165993f1fd/recommendations-for-implementing-industry-4-0-data.pdf> (accessed April 01, 2020).
7. **F. Shrouf, J. Ordieres, G. Miragliotta**, Smart factories in Industry 4.0: A review of the concept and of energy management approached in production based on the Internet of Things paradigm. 2014 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, 2014, no. 7058728, pp. 697–701. DOI: 10.1109/IEEM.2014.7058728
8. **M.K. Adeyeri, K. Mpofo, T. Adenuga Olukorede**, Integration of agent technology into manufacturing enterprise: A review and platform for industry 4.0. IEOM 2015 – 5th International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, 2015, no. 7093910. DOI: 10.1109/IEOM.2015.7093910
9. **M.J. Cobo, B. Jürgens, V. Herrero-Solana, M.A. Martínez, E. Herrera-Viedma**, Industry 4.0: A perspective based on bibliometric analysis. *Procedia Computer Science*, 2018, no. 139, pp. 364–371. DOI: 10.1016/j.procs.2018.10.278
10. **M.V. Lychagin**, “Industriya 4.0” cherez linzy i prizmy bibliometrii i obzorov [“Industry 4.0” through the lenses and the prisms of bibliometrics and reviews]. Babkin A.V. (Ed.). *Tsifrovaya ekonomika i Industriya 4.0: forsayt Rossiya* [Digital economy and Industry 4.0: Foresight Russia], Proceedings of the conference, St. Petersburg, SPbPU, vol. 1, 2020, pp. 202–220. (rus)
11. **V. Gružauskas, S. Baskutis, V. Navickas**, Minimizing the trade-off between sustainability and cost effective performance by using autonomous vehicles. *Journal of Cleaner Production*, 2018, no. 184, pp. 709–717. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.02.302
12. **R. Kumar, S.P. Singh, K. Lamba**, Sustainable robust layout using Big Data approach: A key towards industry 4.0. *Journal of Cleaner Production*, 2018, no. 204, pp. 643–659. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.08.327
13. **C. Tumelero, R. Sbragia, S. Evans**, Cooperation in R & D and eco-innovations: The role in companies’ socioeconomic performance. *Journal of Cleaner Production*, 2018, no. 207, pp. 1138–1149. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.09.146
14. **V. Shivajee, R.K. Singh, S. Rastogi**, Manufacturing conversion cost reduction using quality control tools and digitization of real-time data. *Journal of Cleaner Production*, 2019, no. 237, 117678. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.117678
15. **M. Kerin, D.T. Pham**, A review of emerging industry 4.0 technologies in remanufacturing. *Journal of Cleaner Production*, 2019, no. 237, 117805. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.117805
16. **A.G. Chofreh, F.A. Goni, J.J. Klemeš, M.N. Malik, H.H. Khan**, Development of guidelines for the implementation of sustainable enterprise resource planning systems. *Journal of Cleaner Production*, 2020, no. 244, 118655. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.118655
17. **M. Ramirez-Peña, A.J. Sánchez Sotano, V. Pérez-Fernandez, F.J. Abad, M. Batista**, Achieving a sustainable shipbuilding supply chain under I4.0 perspective. *Journal of Cleaner Production*, 2020, no. 244, 118789. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.118789

18. **M. Ghobakhloo**, Industry 4.0, digitization, and opportunities for sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 2020, no. 252, 119869. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.119869
19. **G. Yadav, S. Luthra, S.K. Jakhar, S.K. Mangla, D.P. Rai**, A framework to overcome sustainable supply chain challenges through solution measures of industry 4.0 and circular economy: An automotive case. *Journal of Cleaner Production*, 2020, no. 254, 120112. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.120112
20. **M. Asif**, Are QM models aligned with Industry 4.0? A perspective on current practices. *Journal of Cleaner Production*, 2020, no. 258, 120820. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.120820
21. **K. Tiwari, M.S. Khan**, Sustainability accounting and reporting in the industry 4.0. *Journal of Cleaner Production*, 2020, no. 258, 120783. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.120783
22. **G. Beier, A. Ullrich, S. Niehoff, M. Reißig, M. Habich**, Industry 4.0: How it is defined from a sociotechnical perspective and how much sustainability it includes – A literature review. *Journal of Cleaner Production*, 2020, no. 259, 120856. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.120856
23. **L. Trivelli, A. Apicella, F. Chiarello, R. Rana, G. Fantoni, A. Tarabella**, From precision agriculture to Industry 4.0: Unveiling technological connections in the agrifood sector. *British Food Journal*, 2019, no. 8, pp. 1730–1743. DOI: 10.1108/BFJ-11-2018-0747
24. **A. Polyvyanyy, C. Ouyang, A. Barros, W.M.P. van der Aalst**, Process querying: Enabling business intelligence through query-based process analytics. *Decision Support Systems*, 2017, no. 100, pp. 41–56. DOI: 10.1016/j.dss.2017.04.011
25. **M. Joswiak**, Chemical process data science for industry 4.0. *Process Development Symposium 2019: Developing Processes for Today and Tomorrow*, 2019, pp. 53–54.
26. **C. Tuffnell, P. Kral, P. Durana, T. Krulicky**, Industry 4.0-based manufacturing systems: Smart production, sustainable supply chain networks, and real-time process monitoring. *Journal of Self-Governance and Management Economics*, 2019, no. 2, pp. 7–12. DOI: 10.22381/JSME7220191
27. **C. Lafferty**, Sustainable industry 4.0: Product decision-making information systems, data-driven innovation, and smart industrial value creation. *Journal of Self-Governance and Management Economics*, 2019, no. 2, pp. 19–24. DOI: 10.22381/JSME7220193
28. **E. Bourke**, Smart production systems in industry 4.0: Sustainable supply chain management, cognitive decision-making algorithms, and dynamic manufacturing processes. *Journal of Self-Governance and Management Economics*, 2019, no. 2, pp. 25–30. DOI: 10.22381/JSME7220194
29. **T. Hayhoe, I. Podhorska, A. Siekelova, V. Stehel**, Sustainable manufacturing in industry 4.0: Cross-sector networks of multiple supply chains, cyber-physical production systems, and AI-driven decision-making. *Journal of Self-Governance and Management Economics*, 2019, no. 2, pp. 31–36. DOI: 10.22381/JSME7220195
30. **K.W. Cosgrave**, The smart cyber-physical systems of sustainable industry 4.0: Innovation-driven manufacturing technologies, creative cognitive computing, and advanced robotics. *Journal of Self-Governance and Management Economics*, 2019, no. 3, pp. 7–13. DOI: 10.22381/JSME7320191
31. **F. Ludbrook, K.F. Michalikova, Z. Musova, P. Suler**, Business models for sustainable innovation in industry 4.0: Smart manufacturing processes, digitalization of production systems, and data-driven decision making. *Journal of Self-Governance and Management Economics*, 2019, no. 3, pp. 21–26. DOI: 10.22381/JSME7320193
32. **E. Nica**, Cyber-physical production networks and advanced digitalization in industry 4.0 manufacturing systems: Sustainable supply chain management, organizational resilience, and data-driven innovation. *Journal of Self-Governance and Management Economics*, 2019, no. 3, pp. 27–33. DOI: 10.22381/JSME7320194
33. **J. Gradeck, O. Neguriță, I. Grecu, G. Grecu**, Big data analytics in industry 4.0: Sustainable industrial value creation, manufacturing process innovation, and networked production structures. *Journal of Self-Governance and Management Economics*, 2019, no. 3, pp. 34–40. DOI: 10.22381/JSME7320195
34. **G. Culot**, et al., Behind the definition of Industry 4.0: Analysis and open questions. *International Journal of Production Economics*, In print. DOI: 10.1016/j.ijpe.2020.107617

Статья поступила в редакцию 08.04.2020.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / THE AUTHORS

ЛЫЧАГИН Михаил Васильевич

E-mail: lychagin@nsu.ru

LYCHAGIN Mikhail V.

E-mail: lychagin@nsu.ru

© Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2020