

Моргунов Юрий Алексеевич —

профессор кафедры «Технологии и оборудование машиностроения» Московского политехнического университета, кандидат технических наук, доцент.

Полуянов Владимир Сергеевич —

сотрудник Московского политехнического университета, кандидат технических наук.

Саушкин Борис Петрович —

профессор кафедры «Технологии и оборудование машиностроения» Московского политехнического университета, доктор технических наук.

Yuriy A. Morgunov —

Moscow Polytechnic University.

Vladimir S. Poluyanov —

Moscow Polytechnic University.

Boris P. Saushkin —

Moscow Polytechnic University.

Анализ динамики и выявление тенденций развития наукоемких технологий машиностроения

Технологии, основанные на физико-химических методах обработки (ТФХО), рассматривают как ключевые наукоемкие технологии [1]. Изучение динамики их развития позволяет выявить основные пути совершенствования этого технологического кластера, очертить сферу эффективного промышленного использования и сделать обоснованные прогнозы.

Статистические исследования проведены методом малых выборок путем анализа материалов авторитетного международного симпозиума по электрической обработке материалов, который проводится раз в три года начиная с 1960 г. (табл. 1) [2]. Подобные исследования проводились ранее, однако при значительно меньшем объеме статистических данных [3, 4].

УДК 621.9.048

Проведен наукометрический анализ динамики развития наукоемких технологий машиностроительного производства. Показано, что в 1960–1970-е годы в мировом технологическом пространстве сформировалось новое научное направление в технологии машиностроения — кластер методов и технологий физико-химической обработки материалов. Выполнено ранжирование индустриально развитых стран мира по уровню развития наукоемких технологий. Выявлена взаимосвязь уровня развития наукоемких технологий, уровня индустриального развития с показателями, характеризующими социально-экономический статус страны.

Показано, что в сложившейся геополитической ситуации и в условиях ограниченных ресурсов вопросы выбора приоритетных направлений развития наукоемких технологий становятся как никогда актуальными. Отмечено, что критерии оценки и процедуры выбора приоритетных направлений развития разработаны недостаточно или просто отсутствуют. Все это сказывается на финансировании научно-исследовательских работ и темпах развития отдельных технологических направлений.

Ключевые слова

Технологический кластер, физико-химические методы и технологии, индекс развития наукоемких технологий, индекс индустриального развития, индекс глобальной конкурентоспособности, индекс развития человеческого потенциала.



Материалы этого симпозиума рецензируются, отражают важнейшие результаты, полученные мировым технологическим сообществом за указанный период, и отличаются высоким уровнем представления. С 2013 г. материалы симпозиума ISEM издаются под эгидой CIRP (*The International Academy for Production Engineering*) — авторитетной организации в области технологии машиностроения.

С целью оценки достоверности результатов проводился также анализ публикаций по выделенной тематике в российском реферативном журнале «Технология машиностроения», результаты которого сопоставлялись [5].

Уровень научного потенциала стран мира в рассматриваемой области мирового технологического пространства оценивался по сте-

Analyzing Dynamics and Revealing Tendencies of High Technologies Development in Mechanical Engineering

Scientometric analysis of dynamics of science-intensive technologies development in machine-building production was carried out. It is shown that in the 1960s–1970s, a new scientific direction in the technology of mechanical engineering — a cluster of methods and technologies for physicochemical treatment of materials — was formed in the world technological space. Ranking of industrially developed countries all over the world in terms of the development level of science-intensive technologies is performed. The interrelation between the level of development of science-intensive technologies, the level of industrial development and indicators characterizing the socio-economic status of the country, is revealed.

It is shown that in the current geopolitical situation and in conditions of limited resources, the choice of priority directions for the development of high technologies is becoming more relevant than ever. It is noted that the evaluation criteria and procedures for selecting priority development directions are not sufficiently developed or are simply lacking. All this affects the financing of scientific research and the development pace of certain technological areas.

Keywords

Technological cluster, physical-chemical methods and technologies, the index of high technologies development, the index of industrial development, the index of global competitiveness, the index of human development.

пени их участия в этом форуме (количество представленных докладов). Продолжительный период времени (50 лет) позволяет нивелировать случайные факторы.

Статистические исследования динамики развития наукоемких технологий машиностроительного производства

Около 20 стран мира, обладающих необходимым научно-техническим потенциалом, развитым производством соответствующего уровня и квалифицированными кадрами, активно развивают и используют технологии физико-химической обработки для создания наукоемкой продукции.

➤ Существует глубокая взаимосвязь состояния социально-экономических отношений с развитием прикладных научных исследований.

На рис. 1 показаны изменения во времени числа стран — участниц Международного симпозиума (ISEM), количество новых технологических направлений и общее число представленных докладов. Под технологическим направлением в нашем случае понимают не только технологии, основанные на новом методе обработки [6], но и новое применение известных методов, например аддитивные технологии [7], технологии микро- и нано-обработки [8] и пр.

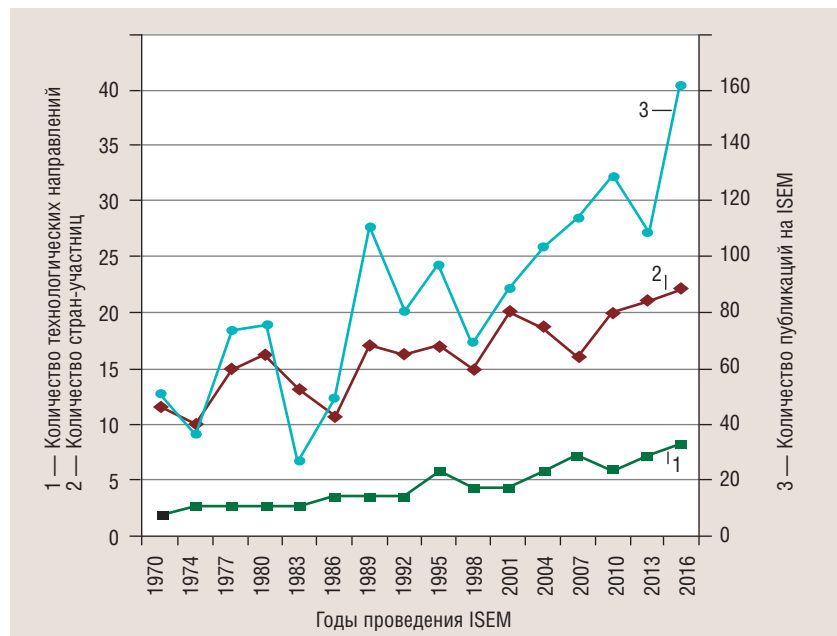
Таблица 1

Сведения об источнике статистической информации

Симпозиум	Число докладов	Место проведения	Симпозиум	Число докладов	Место проведения
ISEM-III (1970)	54	Австрия	ISEM-XI (1995)	97	Швейцария
ISEM-IV (1974)	38	Словакия	ISEM-XII (1998)	67	Германия
ISEM-V (1977)	76	Швейцария	ISEM-XIII (2001)	89	Швейцария
ISEM-VI (1980)	77	Польша	ISEM-XIV (2004)	105	Англия
ISEM-VII (1983)	24	Англия	ISEM-XV (2007)	115	США
ISEM-VIII (1986)	48	СССР	ISEM-XVI (2010)	127	Китай
ISEM-IX (1989)	111	Япония	ISEM-XVII (2013)	109	Бельгия
ISEM-X (1992)	81	Германия	ISEM-XVIII (2016)	162	Япония

Рисунок 1

Динамика числа технологических направлений (1), количества стран-участниц (2) и количества представленных докладов по материалам ISEM (3)

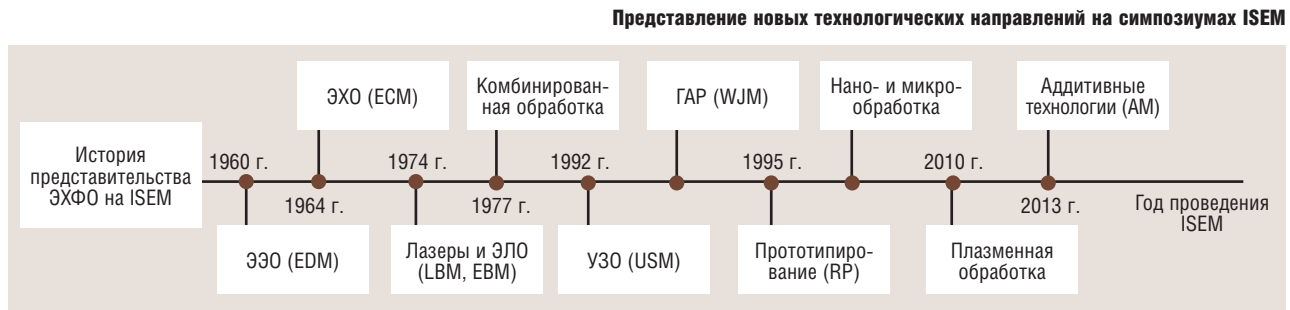


Статистические данные указывают на устойчивое возрастание рассматриваемых величин во времени на фоне случайных флуктуаций. Если до 1970 г. к технологиям физико-химической обработки материалов относили только технологии электроэрозионной (ЭЭО) и электрохимической (ЭХО) обработки, то к 2016 г. было представлено уже 10 разветвленных технологических направлений (рис. 2). В симпозиуме ISEM-XVIII участвовали 22 страны, представившие 162 доклада.

Снижение числа стран — участниц ISEM-1986 связано с тем, что симпозиум проходил в Москве и по времени совпал с Чернобыльской катастрофой. Спады 1998 г. (Аахен, Германия) и 2007 г. (Питсбург, США) являются прежде всего следствием мирового экономического кризиса.

Если число научных направлений возрастает монотон-

Рисунок 2



но, то изменение числа стран-участниц и количества представленных докладов носит циклический характер с периодом 9–15 лет. Заметим, что отмеченная цикличность хорошо коррелирует с периодичностью средних циклов в экономике (циклы Жюгляра с периодом 7–12 лет). Заметим также, что резкое возрастание числа научных публикаций и появление новых технологических направлений начиная с 1995–2000 гг. может быть связано с началом нового цикла Кондратьева (стадия подъема), приходящегося на середину текущего десятилетия. Все это может отражать глубокую взаимосвязь состояния социально-экономических отношений с развитием прикладных научных исследований.

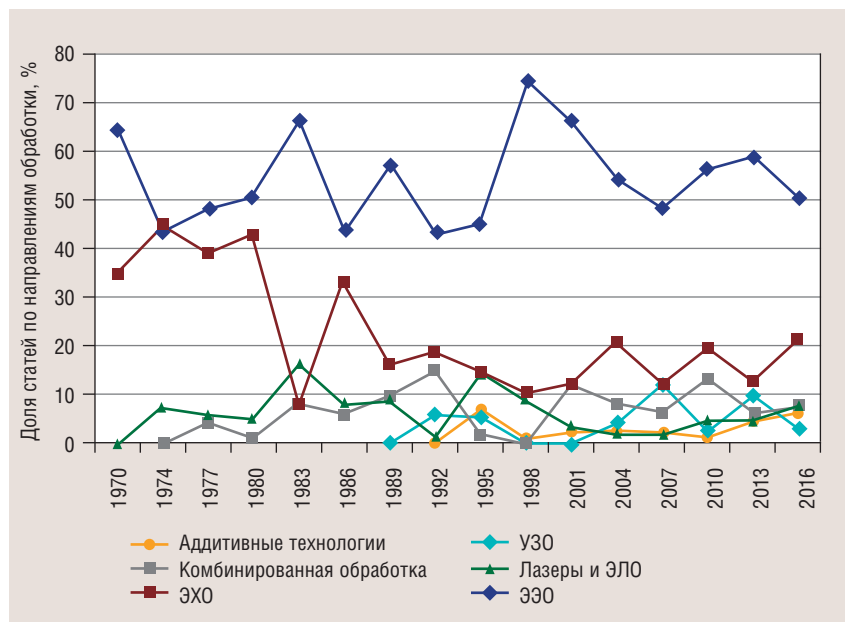
На рис. 3 показано распределение представленных докладов по отдельным направлениям физико-химической обработки.

Видно, что электроэрозионная обработка, доля которой составляет 50–55%, стабильно доминирует. Напротив, доля работ по электрохимической обработке в начале 1980-х годов резко снизилась, а затем стабилизировалась на уровне 15–20%.

Анализ научных публикаций по этой тематике (по данным реферативного журнала «Технология машиностроения»), проведенный в 1980–2016 гг., показал примерно те же ре-

Рисунок 3

Динамика развития отдельных методов и технологий физико-химической обработки по данным ISEM (по оси ординат — доля статей по направлениям обработки)



зультаты (рис. 4), что подтверждает взаимосвязь динамики развития физико-химических методов и технологий в странах мира с количеством публикаций по этой проблематике. Это указывает на правомерность используемой нами выборки (ISEM) и подтверждает достоверность обсуждаемых результатов.

Спад публикационной активности в области ЭХО начала 1980-х годов связан с повышением конкурентоспособности технологий обработки резанием в результате появления относительно дешевых и эффективных систем ЧПУ и оснащения ими многокоординатных фрезерных станков. В связи с этим обострился один из серьезных недостатков технологий, основанных на методе прямого копиро-



Увеличилась доля комбинированных и гибридных технологий. В начале 1990-х годов отчетливо проявился интерес индустриально развитых стран к освоению новых направлений рассматриваемого технологического кластера: к технологиям быстрого прототипирования (RP), различным вариантам ультразвуковой обработки, аддитивным технологиям. Следует заметить, что относительно небольшая, но стабильная доля публикаций по лазерным технологиям в материалах ISEM объясняется наличием профильных специализированных изданий и конференций по этому направлению.

вания, — низкий уровень унификации технологий ЭХО.

Это приводит к увеличению ресурсозатрат при технологической подготовке производства новых изделий, малой фондоотдаче из-за недостаточной загруженности станочного парка электрохимических станков, снижению производительности труда.

С развитием машиностроения (появлением новых материалов, усложнением решаемых задач в сфере производства) заметно изменяется вектор развития и применения отдельных традиционных ТФХО. Например, значительная доля опубликованных научных работ по ЭЭО, ЭХО, лазерной обработке приходится на технологии микро- и нанообработки изделий. Динамику развития и совершенствования ТФХО можно проследить на примере развития электроэрозионной обработки (рис. 5).

По мере развития технологий ЭЭО широкое распространение получают комбинированные методы обработки с использованием ЭЭО, развиваются новые и совершенствуются существующие направления.

Среди стран-участниц можно выделить страны с высоким промышленным потенциа-

Рисунок 4

Динамика развития технологий ЭЭО и ЭХО по данным реферативного журнала «Технология машиностроения»

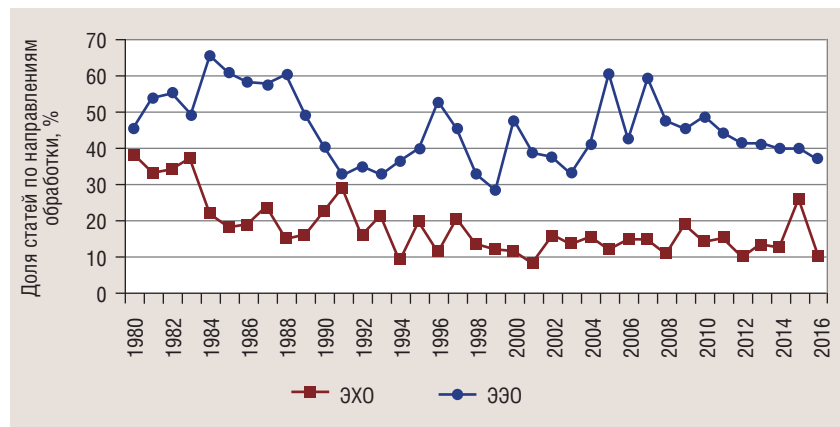
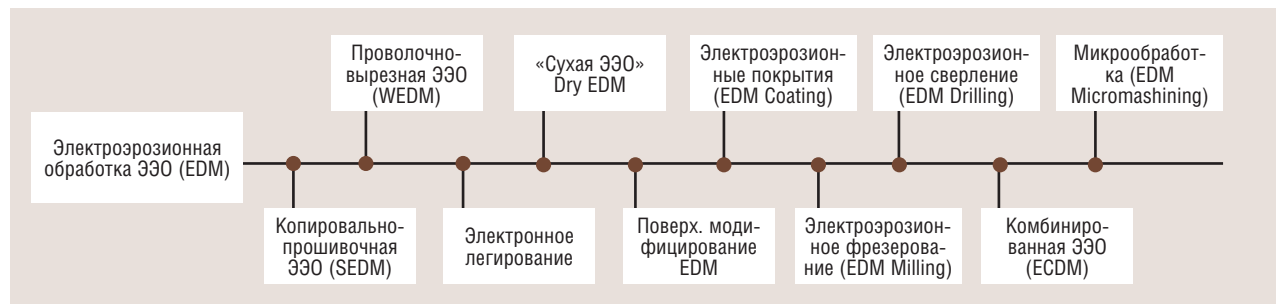


Рисунок 5

Тенденции в развитии технологий электроэрозионной обработки



лом в области ТФХО, которые регулярно участвовали и участвуют в этом всемирном форуме. И если доля публикаций таких стран, как Польша, Швейцария, Англия за рассматриваемый период в среднем составляет 5–6%, то Тайвань, Япония и Китай в последние 15–20 лет сделали существенный рывок в области этих технологий. Это хорошо согласуется с заметным повышением индекса промышленного развития передовых стран Азиатско-Тихоокеанского региона в указанный период.

Для того чтобы нивелировать разброс полученных результатов по годам проведения ISEM, который обусловлен различными причинами политического, экономического, экологического характера, выбраны четыре периода для оценки публикационной активности стран в области ТФХО: 1-й — с 1970 по 1980 г.; 2-й — с 1980 по 1992 г.; 3-й — с 1992 по 2004 г.;



4-й — с 2004 по 2016 г. Это позволило наглядно увидеть тенденции развития данных технологий в различных странах мира. На рис. 6 представлена публикационная активность ведущих промышленных стран мира за указанный период времени.

Рисунок 6

Динамика развития ТФХО в различных странах мира

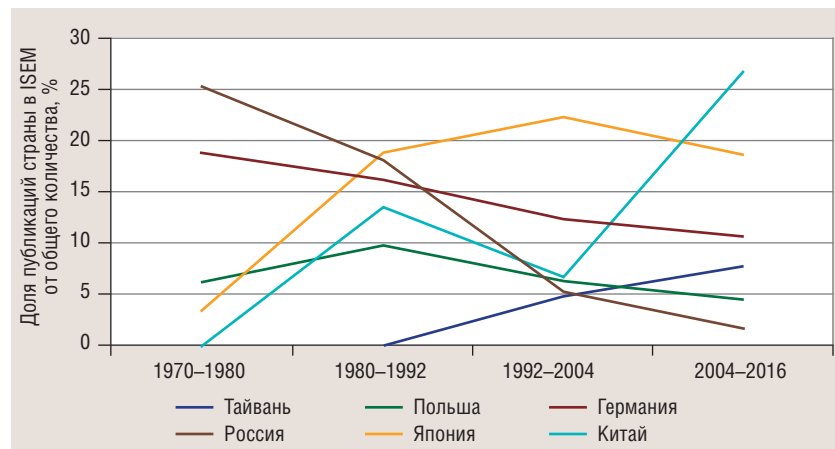


Таблица 2

Рейтинг публикационной активности ведущих стран по материалам ISEM

Страна	Изменение рейтинга стран по публикационной активности в ISEM			
	1970–1980 гг.	1980–1992 гг.	1992–2004 гг.	2004–2016 гг.
СССР (Россия)	1	2	7	15
ФРГ (Германия)	2	3	2	3
Китай	–	4	4	1
Япония	9	1	1	2
Тайвань	–	–	10	4
Великобритания	4	7	5	9
США	8	10	8	7
Польша	6	5	6	6

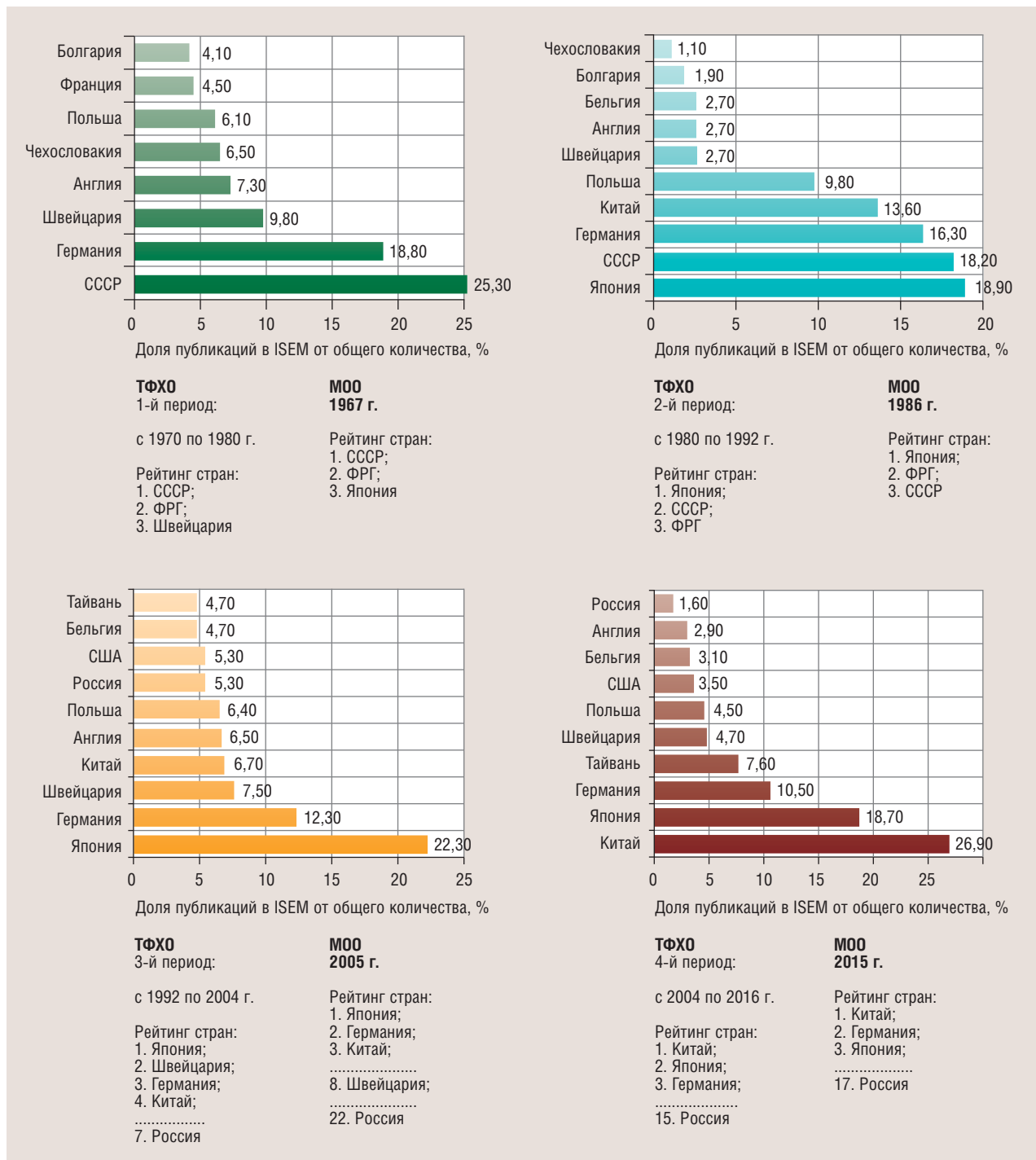
Ранжирование индустриально развитых стран мира по уровню развития наукоемких технологий

На каждом временном этапе были выбраны 9–11 стран, суммарная доля публикаций которых была не менее 80–85% от общего числа публикаций. Полученные результаты позволили выполнить ранжирование наиболее развитых стран в области этих технологий (рис. 7). В табл. 2 показано изменение рейтинга стран по доле их научных публикаций в общем объеме научных публикаций в ISEM.

Полученные результаты хорошо коррелируют с данными, приведенными в [9], где рассматривается динамика производства металлообрабатывающего оборудования (МОО) в странах мира за период с 1995 по 2015 г. Считается, что уровень производства металлообрабатываю-

Рисунок 7

Сопоставление рейтингов стран в области ТФХО (по данным ISEM) и стран — лидеров в области производства МОО (по данным [9])



щего оборудования является объективным показателем индустриального развития страны, а динамика таких показателей отражает состояние мировой экономики. Показатель развития станкостроения в конкретной стране

не является индикатором развития экономических и производительных сил.

В [9] приведен также рейтинг стран — лидеров в производстве МОО и их процентная доля

в мировом производстве станков и кузнечно-прессового оборудования за последние 50 лет. Показано, что развитие мирового станкостроения также имеет циклический характер. В последнее 15–20 лет активная модернизация и создание новых производств в странах Азии, особенно в Китае, стимулировали бурный рост наукоемких технологий, развитие машиностроения и подняли темп роста мировой экономики.

➤ **Уровень производства металлообрабатывающего оборудования является объективным показателем индустриального развития страны, а динамика таких показателей отражает состояние мировой экономики.**

Отметим резкое снижение рейтинга России: с 1–2-го до 15-го места — и доли ее публикаций по тематике ТФХО — с 25 до 1–2%, что указывает на угрозу потери нашей страной технологического суверенитета в этой области. О возможности подобного развития событий писал академик К.В. Фролов в конце 1990-х годов. Деградация наукоемких технологий в России является следствием заметного снижения социально-экономических показателей развития страны, вызванного гуманитарным коллапсом 1990-х годов.

Взаимосвязь уровня развития ТФХО с социально-экономическими показателями стран

Интересно сравнить уровень развития ТФХО в развитых странах с иными показателями их социально-экономического развития, представленными в *табл. 3*. Индекс развития ТФХО в данной стране (ИРТ) отождествим с соответствующим рейтингом страны, рассмотренным выше. Индекс индустриального развития страны (ИИР) отождествлен с ее рейтингом в производстве металлообрабатывающего и кузнечно-прессового оборудования [9]. Эти индексы отражают уровень машиностроительного потенциала страны. Индекс глобальной конкурентоспособности



(ИГК) является комплексным показателем, оцениваемым по 16 единичным показателям, его значения приводятся по данным [10]. Значения индекса развития человеческого потенциала (ИРЧП) также позаимствованы в работе [10].

Из данных *табл. 3* видно, что наблюдается хорошая корреляция между основными социально-экономическими показателями развития страны и индексами индустриального развития и развития наукоемких технологий. Лишь в Китае показатели индустриального развития (ИИР и ИРТ) заметно опережают показатели социально-экономического развития, что отражает, по-видимому, некоторую инерционность последних.

На фоне этого состояние дел в России в области развития научного потенциала машино-

Таблица 3

Индексы уровня машиностроительного потенциала и социально-экономической сферы индустриально развитых стран на 2013 г.

Страна	Индекс			
	ИИР	ИРТ	ИГК	ИРЧП
Германия	3	3	4	5
Швейцария	8	5	1	9
Япония	2	2	9	10
Китай	1	1	29	101
США	6	7	5	3
Великобритания	11	9	10	26
Франция	14	14	23	20
Россия	17	15	64	55

строения выглядит особенно удручающе: появилась как технологическая зависимость от передовых индустриально развитых стран в области наукоемких технологий, так и импортозависимость от них по высокотехнологичному оборудованию. Это очень опасно для страны в условиях санкций и ограничений на экспорт технологий и оборудования в Россию, политической нестабильности в мире. В настоящее время доля импорта наукоемкой продукции составляет более 80% [9].

В сложившейся геополитической ситуации, в условиях ограниченности ресурсов проблема выбора приоритетных направлений развития наукоемких технологий как никогда актуальна. К сожалению, к настоящему времени критерии оценки и процедуры выбора приоритетных направлений развития разработаны недостаточно или просто отсутствуют. Все это сказывается на финансировании научно-исследовательских работ и темпах развития отдельных технологических направлений.

* * *

1. В 1960–1970-е годы в мировом технологическом пространстве сформировалось новое научное направление в технологии машиностроения — кластер методов и технологий физико-химической обработки материалов. Это направление интенсивно развивается, увеличивается научный задел, появляются новые и совершенствуются существующие методы и технологии, ос-

ваиваются новые области их эффективного применения.

2. К числу стран — лидеров этого направления относятся страны с высоким индексом индустриального развития, соответствующим научно-техническим, инновационным и человеческим потенциалом, обеспечивающим разработку наукоемких технологий и производство наукоемкой продукции. Объективно существует корреляционная связь между уровнем развития наукоемких технологий и уровнем индустриального развития с показателями, характеризующими социально-экономический статус страны.

3. Если индустриально развитые страны мира заметно наращивают свой научно-технический потенциал, прилагают усилия по развитию методов и технологий физико-химической обработки, то в России за последние 20–25 лет это технологическое направление деградировало, место страны в рейтинге снизилось с 1–2-го до 15-го в 2016 г.

4. Электроэрозионная обработка демонстрирует стабильный уровень конкурентоспособности; сформулирована и четко очерчена область эффективного применения соответствующих технологий. Метод широко применяется в комбинированных и гибридных технологиях обработки.

5. За последние 30 лет заметно снизился уровень конкурентоспособности электрохимической размерной обработки, что связано с наличием ряда нерешенных научных, технических и организационных проблем (например, с относительно низким уровнем унификации технологий). Вместе с тем этот метод основан на удалении материала на атомном уровне и, по всей видимости, его инновационный потенциал далеко не исчерпан.

6. Физико-химические процессы и методы лежат в основе большинства известных технологий размерного аддитивного формообразования. Расширение области применения таких технологий, особенно при изготовлении изделий из металлов и сплавов, требует создания опережающего научного задела в этой области.



7. Конкурентоспособность технологий физико-химической обработки в области нано- и микрообработки заметно выше, чем классических технологий механического воздействия на обрабатываемый объект. Создано прецизионное оборудование, обеспечивающее получение пространственных элементов конструкций с размерами до 10^{-6} м.

8. В условиях ограниченности ресурсов, выделяемых на технологические нововведения, и высоких рисков, связанных с коммерциализацией результатов, необходим тщательный и глубоко обоснованный подход к выбору технологических объектов и направлений, инвестирование в которые даст наибольший эффект.

ПЭС 17095 / 05.06.2017

Источники

1. Моргунов Ю.А., Панов Д.В., Саушкин Б.П., Саушкин С.Б. Научные технологии машиностроительного производства: Физико-химические методы и технологии: Учеб. Пособие / Под ред. Б.П. Саушкина. М.: Форум, 2013. 928 с.
2. Proceeding of International Symposium for Electromachining (ISEM). 1970–2016.
3. Физико-химические методы в производстве газотурбинных двигателей / Под ред. Б.П. Саушкина. М.: Дрофа, 2002. 656 с.
4. Schumacher B.M., Krampits R., Kruth J.P. Historical phases of EDM development driven by the dual influence of Market Pull and Science Push. *Procedia CIRP* 6 (2013). Pp. 5–12.

➤ Состояние дел в России в области развития научного потенциала машиностроения выглядит особенно удручающе: появилась как технологическая зависимость от передовых индустриально развитых стран в области наукоемких технологий, так и импортозависимость от них по высокотехнологичному оборудованию.

5. Технология машиностроения: Реферативный журнал. 1980–2016. Институт научной информации (Академия наук СССР), ВИНТИ РАН.

6. Моргунов Ю.А., Саушкин Б.П., Шандров Б.В. Развитие понятийного аппарата технологии машиностроения: Справочник // *Инженерный журнал*. 2016. № 4. С. 3–7.

7. Моргунов Ю.А., Саушкин Б.П. Технологические аспекты аддитивного формообразования // *Научные технологии в машиностроении*. 2016. № 7. С. 4–8.

8. Астахов Ю.П., Кочергин С.А., Моргунов Ю.А. и др. Микрообработка поверхностных рельефов с применением физико-химических методов воздействия на материал // *Научные технологии в машиностроении*. 2012. № 7. С. 33–38.

9. Воеводов А.А. Мировое станкостроение-2015 // Комплекс «ИТО». 2016. № 5. С. 58–92.

10. Иванов В.В. Инновационная парадигма XXI. М: Наука. 2013. 383 с.

References

1. Morgunov Yu.A., Panov D.V., Saushkin B.P., Saushkin S.B. *Naukoemkie tekhnologii mashinostroitel'nogo proizvodstva: Fiziko-khimicheskie metody i tekhnologii* [High Technologies of Engineering Production: Physicochemical Methods and Technologies]. Pod redaktsiyey B.P. Saushkina. Moscow, Forum, 2013, 928 p.
2. *Proceeding of International Symposium for Electromachining (ISEM)*. 1970–2016.
3. *Fiziko-khimicheskie metody v proizvodstve gazoturbinnnykh dvigateley* [Physico-Chemical Methods in Production of Gas Turbine Engines]. Pod redaktsiyey B.P. Saushkina. Moscow, Drofa, 2002, 656 p.
4. Schumacher B.M., Krampits R., Kruth J.P. *Historical phases of EDM development driven by the dual influence of Market Pull and Science Push*. *Procedia CIRP*, 2013, no. 6, pp. 5–12.
5. *Tekhnologiya mashinostroyeniya* [Technology of Mechanical Engineering]. Referativnyy zhurnal. 1980–2016. Institut nauchnoy informatsii (Akademiya nauk SSSR), VINITI RAN.
6. Morgunov Yu.A., Saushkin B.P., Shandrov B.V. *Razvitie ponyatiynogo apparata tekhnologii mashinostroyeniya* [Development of Conceptual Apparatus in Engineering Technology]. *Inzhenernyy zhurnal*, 2016, no. 4, pp. 3–7.
7. Morgunov Yu.A., Saushkin B.P. *Tekhnologicheskie aspekty additivnogo formoobrazovaniya* [Technological Aspects of Additive Shaping]. *Naukoemkie tekhnologii v mashinostroyenii*, 2016, no. 7, pp. 4–8.
8. Astakhov Yu.P., Kochergin S.A., Morgunov Yu.A. i dr. *Mikroobrabotka poverkhnostnykh rel'efov s primeneniemy fiziko-khimicheskikh metodov vozdeystviya na material* [Microprocessing of Surface Reliefs with Application of Physical-Chemical Methods of Treating a Material]. *Naukoemkie tekhnologii v mashinostroyenii*, 2012, no. 7, pp. 33–38.
9. Voevodov A.A. *Mirovoe stankostroyenie-2015* [World Machine Tool Building 2015]. Komplekt "ITO", 2016/ no. 5, pp. 58–92.
10. Ivanov V.V. *Innovatsionnaya paradigma XXI* [Innovative Paradigm XXI]. Moscow, Nauka, 2013, 383 p.