



Монография

Под научной  
редакцией д.т.н.,  
профессора  
Б.П. Саушкина



# ОСНОВОПОЛОЖНИКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МЕТОДОВ И ТЕХНОЛОГИЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)

# ОСНОВОПОЛОЖНИКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МЕТОДОВ И ТЕХНОЛОГИЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ

Монография

*Под научной редакцией  
д.т.н., профессора Б.П. Саушкина*

Москва  
2020

УДК 621.03+621.9.047/.048

ББК 30.61

075

*Рецензенты:*

*Астахов Ю.П., к.т.н., доцент, ведущий специалист ФГУП «НПО «Техномаш»;*  
*Бойцов А.Г., д.т.н., заведующий кафедрой «Технология производства*  
*и эксплуатации двигателей летательных аппаратов» МАИ,*  
*заместитель генерального директора по науке АО «ВНИИАЛМАЗ»*

Авторский коллектив:

Балмасов А.В. (разд. 2.7), Болога М.К. (разд. 2.2.2, 2.2.3), Вячеславова О.Ф. (разд. 2.4),  
Коневцов Л.А. (разд. 2.8), Кузьмичёв Е.Н. (разд. 2.8.2), Моргунов Ю.А. (гл. 1),  
Николенко С.В. (разд. 2.8.2), Петрухин Н.С. (разд. 2.4),  
Постаногов В.Х. (разд. 2.3, 2.4.), Саушкин Б.П. (введ., гл. 1,  
разд. 2.3, 2.5, 2.6, закл.), Тимофеев Ю.С. (разд. 2.4)

**075 Основоположники электрических методов и технологий обра-**  
**ботки материалов: монография / под науч. ред. Б.П. Саушкина. –**  
**Москва: Московский Политех, 2020. – 227 с.**

ISBN 978-5-2760-2587-2

В истории естествознания практически отсутствуют подробные исследования деятельности ученых в области прикладных, в частности, технологических, наук во второй половине XX века.

В издании впервые обобщен вклад отечественных ученых и инженеров в зарождение и развитие нового направления в производственных технологиях, основанного на широком применении физико-химических, в частности электрических, процессов для воздействия на объект производства. Своей монографией авторы надеются придать новый импульс более широким исследованиям в этой области.

Книга представляет интерес для инженерно-технических специалистов, занимающихся разработкой и внедрением новых технологий. Также может быть использована в вузах при чтении соответствующих курсов по направлению подготовки «Машиностроение».

**УДК 621.03+621.9.047/.048**

**ББК 30.61**

ISBN 978-5-2760-2587-2

© Балмасов А.В., Болога М.К., Вячеславова О.Ф.,  
Коневцов Л.А., Кузьмичёв Е.Н., Моргунов Ю.А.,  
Николенко С.В., Петрухин Н.С., Постаногов В.Х.,  
Саушкин Б.П., Тимофеев Ю.С., 2020  
© Московский Политех, 2020

## Оглавление

Предисловие.....	5
Введение.....	7
<b>ГЛАВА 1. ЗАРОЖДЕНИЕ И РАЗВИТИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МЕТОДОВ И ТЕХНОЛОГИЙ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ.....</b>	<b>10</b>
1.1. Роль и значение научных школ и центров развития в электротехнологии .....	10
1.1.1. Научная школа – эффективная форма и механизм развития науки.....	10
1.1.2. Научные школы и центры развития электротехнологий.....	15
1.1.3. Настоящее и будущее научных школ .....	24
1.2. Международное сообщество электротехнологов: прошлое, настоящее и будущее .....	30
1.2.1. Статистические исследования динамики развития научно-технических технологий электрической обработки.....	31
1.2.2. Ранжирование индустриально развитых стран мира по уровню развития научно-технических технологий .....	36
1.2.3. Взаимосвязь уровня развития ТФХО с социально- экономическими показателями развития ведущих стран мира.....	38
<b>ГЛАВА 2. ОСНОВОПОЛОЖНИКИ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЙ .....</b>	<b>41</b>
2.1. Владимир Николаевич Гусев – первый среди первых .....	41
2.2. Борис Романович Лазаренко: этапы жизненного пути .....	48
2.2.1. Б.Р. Лазаренко – великий ученый и организатор науки .....	49
2.2.2. Б.Р. Лазаренко – основатель Института прикладной физики АН Республики Молдова.....	60
2.2.3. Б.Р. Лазаренко – основатель журнала «Электронная обработка материалов».....	89
2.3. Научное наследие Бориса Никифоровича Золотых в области электроэрозионной обработки материалов .....	105
2.3.1. Экспериментальные исследования закономерностей электрической эрозии металлических материалов в жидкой диэлектрической среде .....	106
2.3.2. Теоретическое описание механизма и построение феноменологической модели процесса электроэрозионной обработки .....	117

2.4. Фёдор Владимирович Седыкин – инженер, ученый и общественный деятель .....	137
2.5. Юрий Николаевич Петров и Кишиневская научная школа прикладной электрохимии .....	156
2.6. Анатолий Георгиевич Атанасянц – яркий представитель традиционной научной школы электрохимиков МХТИ им. Д.И. Менделеева .....	168
2.7. Евгений Михайлович Румянцев – ученый, которого знают и помнят .....	176
2.8. Анатолий Демьянович Верхотуров и дальневосточная научная школа электротехнологов .....	182
2.8.1. А.Д. Верхотуров – учитель, друг, соратник .....	183
2.8.2. А.Д. Верхотуров и материаловедение поверхности – новое направление в развитии науки о материалах .....	195
Заключение .....	212
Библиографический список .....	213
Сведения об авторах .....	225

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Книга призвана почтить память великих отечественных ученых и инженеров, напомнить молодому поколению об их заслугах перед Отечеством и мировым технологическим сообществом. В монографии рассказывается об инженере В.Н. Гусеве, академике Б.Р. Лазаренко и Ю.Н. Петрове, профессорах А.Д. Верхотурове, Б.Н. Золотых, Ф.В. Седыкине, Е.М. Румянцеве, А.Г. Атанасянце – создателях московской, тульской, кишиневской, ивановской, дальневосточной научных школ в области электрообработки.

К сожалению, история естествознания не балует прикладные науки, в частности технологические, своим вниманием. О событиях и людях второй половины XX века написано очень мало, практически отсутствуют подробные исторические исследования и обобщения. Наша книга восполняет этот пробел.

Монография написана коллективом авторов, состоящим из представителей различных школ и направлений технологической науки, объединенных общим объектом исследований – процессами и технологиями, в которых для изменения свойств твердых тел используют преобразование электрической формы энергии в другие ее формы. Каждый из авторов хорошо знал специалистов, о которых пишет, встречался и общался с ними, поэтому данные оценки людей и событий представляют несомненный интерес с точки зрения научной истории естествознания.

Образы ученых и инженеров – основателей электротехнологий – представлены с различных точек зрения: как организаторов науки, исследователей, общественных деятелей, педагогов, просто людей, обладавших большим интеллектуальным, в том числе гуманитарным, потенциалом. Во всех случаях их деятельность была тесно связана с судьбой Отечества и направлена на его защиту и укрепление. В издании использованы ранее опубликованные материалы А.Д. Верхотурова (в разд. 2.2.1) и Е.М. Румянцева (в разд. 2.1), а также А.Е. Гитлевича (в разд. 2.2.1) и В.С. Полуянова (в разд. 1.2).

Авторы благодарят рецензентов – к.т.н., доцента Ю.П. Астахова и д.т.н. А.Г. Бойцова – за ценные замечания по содержанию рукописи. Научный редактор признателен всем членам авторского коллектива за проявленное внимание к памяти наших старших товарищей, сделавших определяющий вклад в зарождение и развитие электрических методов обработки и технологий на их основе.

*Б.П. Саушкин, д.т.н., профессор*

## ВВЕДЕНИЕ

В 2020 г. исполняется 110 лет со дня рождения академика Б.Р. Лазаренко, 100 лет со дня рождения академика Ю.Н. Петрова и профессора Б.Н. Золотых, 85 лет со дня рождения профессора Е.М. Румянцева. Эти люди и их товарищи стояли у истоков создания нового направления в производственных технологиях, основанного на широком применении физико-химических, в частности электрических, процессов для изменения свойств объекта производства.

К концу Второй мировой войны и после нее появились и стали быстро развиваться новые военные технологии и образцы новой техники, такие, например, как ядерное оружие и средства его доставки. Были созданы жидкостно-реактивные и газотурбинные двигатели – высоконагруженные тепловые машины, обеспечивающие недоступные ранее значения удельной тяги. Их создание и конструктивное совершенствование потребовало новых технологических решений по следующим основным причинам.

1. Появились и стали быстро совершенствоваться новые конструкционные материалы для деталей горячей части двигателей (камеры сгорания, жаровые трубы, турбинные и сопловые лопатки, лопатки компрессора высокого давления и пр.). Эти материалы обладали жаропрочностью, то есть сохраняли заданные прочностные свойства при высоких температурах. Однако, чем выше становились показатели жаропрочности этих материалов, тем хуже они обрабатывались резанием, тем выше были издержки производства при изготовлении деталей из них традиционными методами резания и пластического деформирования.

2. Появились конструктивные функциональные элементы деталей машин, обработка которых резанием была затруднена или невозможна: такие как пространственно-сложные аэродинамические и иные профили, отверстия некруглого сечения или с непрямолинейной осью, отверстия малого диаметра при большом отношении длины к диаметру, сложно-контурные занижения глубиной порядка 10 мкм и пр.

3. Появились ажурные конструкции малой жесткости с высокими требованиями к точности отдельных элементов.



4. Существенно повысились требования к эксплуатационным характеристикам высоконагруженных деталей машин, поэтому расширилась потребность в новых технологиях модификации поверхностного слоя таких деталей.

Эти и другие факторы вызвали необходимость в создании нового направления технологии машиностроения, основанного на разработке и применении новых методов размерного формообразования и модификации свойств поверхностного слоя с иными механизмами воздействия на материал заготовки.

Таким образом, сформировалась социально важная общественная потребность в разработке новых методов, способов и технологий обработки материалов, которая привела к развитию следующих процессов:

– в 40–70-х годах прошлого века произошел интенсивный рост знаний в области новых процессов целенаправленного воздействия на материал, сопровождаемый значительным расширением технологических возможностей человека в создании новой техники. Этот период возрастающей ветви 4-го цикла экономической активности Н. Кондратьева по Й. Шумпетеру как раз и соответствует этапу создания и внедрения новых технологий [1];

– роль технологий в решении важной общегосударственной задачи защиты отечества, необходимость создания ракетно-ядерного щита и прочих современных видов вооружения обусловили приток в технологическую сферу значительных материальных, информационных, энергетических, интеллектуальных и трудовых ресурсов, обеспечивших развитие фундаментальных и прикладных наук, обновление производственной базы;

– высокий социально-экономический интерес к этой области фундаментальных и прикладных наук привел к притоку в эту сферу деятельности большого числа высокоодаренных людей, сумевших в сложившейся ситуации раскрыть свои творческие возможности.

Приток одаренных людей в сферу создания и развития новых наукоемких технологий явился одной из причин высокого мирового рейтинга СССР по результатам экономического развития в те годы.

Эта книга о таких людях. Каждый из них внес весомый вклад в копилку технологических знаний, создал коллективы едино-

мышленников или научные школы, проявил высокий уровень организаторских способностей.

Успешный характер их деятельности опирался на наличие идеологии (общенациональной идеи, которую мы сейчас долго и, пока безуспешно, ищем), мотивированность мыслей и поступков, высокий уровень профессионализма, непрерывный процесс обучения и повышения уровня своих знаний, доброжелательность и постоянный интерес к окружающим их людям, любовь к своей Родине.

Нам представляется, что анализ их деятельности и социальной среды, где они воспитывались и ковались их характеры, может выявить много полезного для прогнозирования и планирования социально-экономического развития России, в первую очередь для развития сферы науки и образования в нашей стране.

# ГЛАВА 1

## ЗАРОЖДЕНИЕ И РАЗВИТИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МЕТОДОВ И ТЕХНОЛОГИЙ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

### 1.1. Роль и значение научных школ и центров развития в электротехнологии

#### *1.1.1. Научная школа – эффективная форма и механизм развития науки*

Инновационное развитие машиностроительного производства в значительной степени определяется состоянием научной составляющей технологии машиностроения, как прикладной науки, тесно связанной с развитием фундаментальных наук [1].

Выделяют два пути развития прикладной науки: *экстерналистский* и *интерналистский*. Первый из них предполагает, что на развитие науки в первую очередь влияют внешние факторы, такие, как потребности материального производства, состояние социально-экономической сферы общества. Развитие науки осуществляется в результате взаимодействия научных или научно-производственных сообществ с другими общественными институтами (государство, экономика, политика и т.д.) при определяющей роли этих институтов [2].

Второй путь основан на определяющей роли внутренней логики развития науки, преемственности ее научных идей, преемственности между старым и новым знанием. Выделенные механизмы развития науки следует рассматривать в их диалектическом взаимодействии и взаимосвязи.

*Экстерналистский*, или *директивный*, путь развития технологии машиностроения обеспечивает в первую очередь потребности материального производства, в значительной степени контролируется государством и осуществляется с участием государства [3].

Анализ основных механизмов директивного инновационного развития показывает, что они не обеспечивают, за редким исклю-

чением, основной принцип развития науки – принцип преемственности знаний, в них игнорируется внутренняя логика развития науки, научного направления. Недостатком директивного развития науки является то, что при его реализации наука выступает, как средство обеспечения социально-экономических задач государства (или крупного бизнеса), а ресурсы, выделяемые на развитие науки, концентрируются на тех ее направлениях, которые обеспечивают выдвинутые государством приоритеты.

При таком подходе есть опасность отстать в тех областях получения и накопления новых знаний, которые не укладываются в выделенные приоритеты, как это, например, случилось в России в середине 50-х годов прошлого века с кибернетикой и генетикой. Можно «не заметить» важное научное открытие, полученное на «побочных» направлениях исследований и потерять, так называемую, упущенную выгоду. Дело в том, что по мнению многих ученых, предугадать ту область научной деятельности, которая внесет наибольший вклад в развитие человечества в будущем, практически невозможно, поэтому отсутствие поддержки и финансирования отдельных научных и междисциплинарных направлений, может привести к негативным результатам в долгосрочной перспективе. Суммируя сказанное, можно повторить известное изречение о том, что науку надо поддерживать как науку, а не как придаток промышленности.

Сказанное означает, что, наряду с директивным направлением развития науки должен поддерживаться и обеспечиваться интерналистский (естественно-научный) путь ее развития, при котором на первый план выступает внутренняя логика развития научных знаний, порождающая проблематику исследований в тех либо иных областях. При наличии двух альтернативных путей развития в полной мере проявляется основополагающий закон развития – закон единства и борьбы противоположностей.

Важнейшей формой и в то же время механизмом реализации естественно-научного пути развития науки является *научная школа* (НШ), потому что *перспективы науки всегда определялись перспективами ведущих научных школ* [4–9].

Образование и развитие научных школ является *давней российской традицией*, которая берет свое начало со времен Петра I и вытекает из особенностей культурно-исторического развития

России. Один из основоположников этой области исследований М.Г. Ярошевский писал: «Термин "школа"... при всей своей неопределенности ... означает, по общепринятому мнению историков, во-первых, единство обучения творчеству и процесса исследования, во-вторых, позицию, которой придерживается одна группа ученых в отношении других». Научная школа является инструментом «воспитания исследовательского стиля мышления ... определенного способа подхода к проблемам». Он выделяет три типа научных школ: научно-образовательную школу, школу – исследовательский коллектив, школу как направление научных исследований, приобретающее при определенных социально-исторических условиях национальный, а иногда и интернациональный характер [4].

Следует отметить тот факт, что в публикациях современных западных исследователей понятие «научная школа» практически не употребляется. *Коренным отличием подхода западных и отечественных исследователей к научным школам является то, что в развитии науки первые делают акцент на мобильности научных коллективов (невидимые колледжи, солидарные группы и пр.), а вторые – на их стабильности.*

Термин «научная школа» не однозначен и имеет различные смысловые оттенки. Так, А.С. Левин дает феноменологическое определение научной школы, как исторически сложившейся в России формы совместной научной деятельности коллектива исследователей разного возраста и квалификации, руководимых признанным лидером, объединяемых общим направлением работ, обеспечивающих эффективность процесса исследований и рост квалификации сотрудников [5].

В [6, 7] научная школа определяется, как форма организации научной деятельности, а именно – сложившийся в процессе совместной работы неформальный коллектив ученых, со своими традициями, возглавляемый ученым – основателем школы (впоследствии его учениками). Идеи лидера школы отличаются научной новизной, а построенная на них научно-исследовательская программа разделяется всеми членами коллектива, являющимися прямыми или косвенными учениками основателя школы.

Таким образом, научная школа выступает как производственный коллектив в науке (производство идей), а критерий его

«продуктивности» рассматривается как один из самых значимых для ее идентификации. В более широкой трактовке, включающей школу, как направление в науке, – это виртуальное или реальное неформальное сообщество ученых, придерживающихся той или иной научно-исследовательской программы и развивающих ее дальше.

В работе [8] приводится развернутая классификация научных школ, подтверждающая многозначность и многоаспектность этого понятия.

Анализ существующих определений понятия «научная школа» позволяет сформулировать основные признаки, идентифицирующие НШ:

- наличие лидера, задающего вектор развития научной школы, являющегося автором оригинальных идей, методов и исследовательских программ;

- инновационный новаторский характер исследовательских программ;

- проявление эффекта саморазвития, базирующегося на кооперативных принципах деятельности, постоянном обмене результатами, идеями и пр. (как «по горизонтали» – внутри одного поколения, так и «по вертикали» - между учителями и учениками);

- проявление синергетического эффекта в результате консолидации труда ученых при разработке крупных научных проблем;

- оптимизация процесса обучения научной молодежи и воспроизводства научной культуры путем передачи, как предметного содержания, так и культурных норм и ценностей от старшего поколения к младшему;

- наличие системы традиций и ценностей школы, внутренних стандартов научной результативности и научной этики;

- минимальный цикл, позволяющий фиксировать существование школы, – это три поколения исследователей (основатель, последователь-преемник, ученики преемника);

- широкое публичное признание со стороны других научных направлений (международное, государственное, отраслевое, региональное).

В качестве основных характеристик при сравнении научных школ используют такие показатели, как известность в научном сообществе, высокий уровень и оригинальность исследований, научная репутация, научные традиции, преемственность поколений, которая часто трактуется, как продолжение тематики исследований учителя в трудах его учеников. При оценке научных школ учитывается также количество подготовленных кандидатских и докторских диссертаций («учитель – ученик»); цитируемость трудов участников школы; общие научные идеи и ценности, которых придерживаются члены школы.

Анализ показывает, что в настоящее время используются, в основном, три категории понятий «научная школа»:

- формальное объединение, научно-образовательная организация различного статуса (университет, кафедра, факультет, НИИ, отдел, лаборатория);

- исследовательский (творческий) коллектив, не обязательно имеющий формальную принадлежность к какому-либо структурному подразделению университета или научно-исследовательского института;

- направление в науке, объединившее интересы группы исследователей.

Наряду с НШ существуют и иные формы организации совместной деятельности ученых, которые могут быть также весьма эффективными, что показывает, как опыт развитых стран, так и современный российский опыт («многопрофильный научный коллектив», «научные группы, основанные на принципах гибкого проективного финансирования», «центры перспективных исследований») [10].

Несмотря на то, что появились иные формы организации труда ученых, у научной школы есть существенные преимущества: в ней существуют неформальность научных коммуникаций, мотивированность на подготовку научной молодежи, формируются научные традиции, в том числе и научные эвристики, способствующие результативности научного поиска [6].

### *1.1.2. Научные школы и центры развития электротехнологий*

Сказанное выше позволяет глубже понять процессы развития прикладной науки, характерные для второй половины XX века. Новые технологии, востребованные в наукоемких, как правило, оборонных отраслях промышленности, возникали в местах сосредоточения основных предприятий этих отраслей и развивались на базе существовавшей там научной инфраструктуры – высших учебных заведений, отраслевых НИИ.

Так, Б.Р. Лазаренко в период создания метода электроэрозионной обработки работал, преимущественно, в Москве – центре сосредоточения наукоемких предприятий и признанном научном центре. Это одна из причин быстрого распространения и развития метода и технологий на его основе.

Тульский центр развития электротехнологий создавался на базе Тульского машзавода, других заводов – производителей стрелково-артиллерийских систем и Тульского политехнического института.

Технологии электрохимической размерной обработки, позволили решить проблему эффективной обработки трехмерных аэродинамических поверхностей. Поэтому, центры развития этих технологий, на базе которых впоследствии сформировались, в большинстве своем, научные школы и центры, располагались в Москве (заводы «Красный октябрь» и «Салют», отраслевые НИИ – ЭНИМС, НИАТ, НПО «Техномаш», вузы – МВТУ им. Н.Э. Баумана, МАИ, МАТИ и др.), Ленинграде (Ленинградский институт металлов, завод им. Климова, судостроительные организации, Ленинградский политехнический университет, СПКТБ электрообработки), Та же закономерность прослеживается при анализе научных центров электротехнологий в Уфе, Казани, Куйбышеве (Самаре), Рыбинске.

Исследователи, успешно работавшие в области ЭХРО, появлялись и в других городах: в Тюмени (Е.В. Денисов, И.М. Морозов, О.К. Ольховатский), в Новосибирске (В.Н. Филимоненко, Н.П. Поддубный, Б.А. Красильщиков, А.Г. Дегтяренко) – однако, по ряду причин научные школы по этому направлению там не сформировались.



Исключение составляет Кишиневская научная школа прикладной электрохимии, которая была создана в месте, где практически отсутствовала наукоемкая машиностроительная база. Этот феномен объясняется, на наш взгляд, двумя основными причинами:

- личностью Ю.Н. Петрова, который смог стать лидером научной школы;

- созданный в Кишиневе (1961 г.) академический научный центр, его Институт прикладной физики (1964 г.) вынуждены были искать область применения и внедрения результатов исследований, связанных с машиностроительным производством, на ведущих наукоемких предприятиях страны, что они и делали;

- созданный в Кишиневе (1964 г.) политехнический институт стал готовить кадры, как для машиностроительного производства, так и для исследовательской работы в этой области знаний.

Б.Р. Лазаренко в 40–50-х годах по всем рассмотренным выше признакам создал в Москве научную школу в области электроэрозионной обработки. К числу его учеников относили себя такие авторитетные в научных кругах ученые, как Б.Н. Золотых, Г.Н. Мещеряков, Б.И. Ставицкий, Н.К. Фотеев, Д.З. Митяшкин и др.

Возвращаясь к роли лидера в формировании НИИ, заметим, что после отъезда Б.Р. Лазаренко в Москве, по ряду причин, не нашлось авторитетного ученого, сумевшего объединить и координировать работы в области электротехнологий. Поэтому, здесь сформировались локальные центры, решающие локальные (в пределах отрасли) научно-производственные задачи со своими лидерами. В то же время, научный, организационно-технический и человеческий потенциалы личности Б.Р. Лазаренко были настолько велики, что он успел объединить вокруг себя значительную группу молодых ученых и инженеров и в исторически короткие сроки создать новую школу в Кишиневе, в Институте прикладной физики.

В связи с этим можно лишь условно говорить о Московской НИИ электротехнологов, понимая под этим совокупность локальных научных центров и отдельных исследователей, объединенных общим направлением работ.

Эффективный центр электротехнологий был создан в Научно-исследовательском институте технологии и организации про-

А.К. Журавский непосредственно руководил работой над диссертациями З.М. Брусиловского, К.В. Такунцова, С.А. Демина, А.И. Полевкина, Р.А. Зарипова, А.Н. Зайцева, Е.Ф. Елагина, В.Н. Серавкина, В.Н. Загоруя. Сам он докторскую диссертацию не защищал, хотя по праву считается лидером и основателем Уфимской школы электротехнологов.

Говоря о роли А.К. Журавского в формировании Уфимской школы электротехнологов, следует отметить такого квалифицированного и много сделавшего исследователя, как д.т.н., профессор Наиля Анваровна Амирханова. Судя по результатам ее работы, можно говорить о Наиле Анваровне как о руководителе Уфимской школы высокоскоростной электрохимической обработки металлов и сплавов. Она подготовила целый ряд кандидатов наук в этой области, написала (в соавторстве) несколько монографий, успешно преподавала и заведовала кафедрой химии в Уфимском авиационном институте. Наиля Анваровна пользуется большим уважением в среде специалистов по электрохимической обработке.

В Казани единой научной школы по электрообработке не было, а образовались четыре научных центра. Первый из них возглавлял Геннадий Никифорович Корчагин, сначала доцент, а затем профессор и заведующий кафедрой Казанского авиационного института им А.Н. Туполева. После окончания КАИ Геннадий Никифорович поступил в аспирантуру по кафедре производства двигателей летательных аппаратов, в 1958 году он защитил кандидатскую, а в 1982 году – докторскую диссертацию.

Сферой его научных интересов являлась гидродинамика многофазных потоков, формирующихся при анодном растворении металлов в узких межэлектродных каналах. Для экспериментальных исследований на кафедре был создан, апробирован и широко использовался в экспериментах специальный стенд, позволяющий производить скоростную киносъемку гидродинамических процессов в межэлектродном промежутке (16...20 тысяч кадров в секунду). Выявленные физико-технические эффекты позволили Г.Н. Корчагину разработать корректную математическую модель формообразования, экспериментально и теоретически обосновать технические мероприятия, позволяющие повысить точность электрохимического изготовления крупногабаритных лопаток компрессора ГТД.

Г.Н. Корчагин был руководителем кандидатских диссертаций Ю.Н. Блощицына (главного инженера Казанского моторостроительного завода), Г.Н. Бабкина, И.Х. Мингазетдинова, В.А. Макарова, Ш.А. Бурчакова и др.

Вторым центром электротехнологий в том же институте руководил Альберт Хамзоевич Каримов, доцент кафедры производства двигателей летательных аппаратов, впоследствии – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой прикладной физики. Его научные интересы концентрировались в области теории и практики электрохимического формообразования сложно контурных поверхностей типа гравюр ковочных штампов. В качестве основного метода повышения точности изготовления лопаточных штампов А.Х. Каримов использовал корректирование формы электрода-инструмента.

Альберт Хамзоевич не только выполнил большой объем экспериментальных работ, но и совместно с д.т.н., проф. В.В. Клоковым разработал расчетные теоретические модели формообразования и сравнил результаты теоретических расчетов и экспериментальные данные [19]. В качестве практического результата – разработка РТМ и ОСТА, разработка практических рекомендаций и, в конечном счете, повышение точности заготовок лопаток, получаемых горячей штамповкой.

Третий центр электротехнологий сформировался на механико-математическом факультете Казанского университета вокруг доцента В.В. Клокова, впоследствии д.т.н., профессора. Владимир Васильевич занимался проблемой расчета, преимущественно, двумерных задач электрохимического формообразования на основе разработанного им математического аппарата.

Четвертый центр возглавлял Владислав Павлович Смоленцев, работавший в Казани заместителем директора по научной работе филиала НИАТ, а затем – заведующим кафедрой технологии машиностроения и деталей машин Казанского химико-технологического института. В 1972 г. он защитил докторскую диссертацию «Разработка научных основ и методов расчета технологических параметров электрохимической размерной обработки каналов». Научным консультантом у него был Ю.Н. Петров, а оппонировали Б.Н. Лазаренко, Ф.В. Седыкин, А.Ф. Богоявленский. В 1979 году в связи с избранием по конкурсу на долж-

ность заведующего кафедрой технологии машиностроения Воронежского политехнического института (ныне Воронежский государственный технический университет) Владислав Павлович переехал в Воронеж, где создал и продолжает развивать воронежскую школу электротехнологов, получившую широкую известность и признание научной общественности. Под его руководством стали докторами технических наук В.В. Трофимов, Ю.С. Волков, В.Н. Воронов, В.В. Бердник, М.И. Чижов, А.И. Болдырев, З.Б. Садыков и другие.



**Владислав Павлович  
СМОЛЕНЦЕВ.**

**Заслуженный деятель науки и  
техники РФ, заслуженный  
изобретатель РФ**

Около трех десятков лет Владислав Павлович успешно руководит в Воронеже специализированным Советом по присуждению ученых степеней (ныне – межрегиональный Совет). На сегодняшний день Владислав Павлович является, по мнению авторов, наиболее авторитетным ученым и специалистом в области электротехнологий в России. Он сумел создать и, что самое главное, сохранить и упрочить в трудные времена воронежскую школу электротехнологов.

Ленинград (ныне Санкт-Петербург) является одним из индустриальных и научных центров России. Это, по сути дела, колыбель электрообработки, поскольку В.Н. Гусев, работая в начале 50-х начальником лаборатории электрообработки в Ленинградском институте металлов, охватывал все работы по указанной тематике, впервые реализуя обобщенный подход к этому технологическому кластеру в целом. Целый ряд специалистов, работавших с В.Н. Гусевым, после его смерти в 1954 году продолжал работать по этой тематике в других организациях: на заводе им. В.Я. Климова, НИИ-13, Институте металлов.

В Ленинграде было создано СПКТБ электрообработки под руководством А.Л. Вишницкого, а позднее А.И. Генералова, в котором трудились до 500 человек. Учеными и инженерами Ленинграда был выполнен целый ряд первоклассных разработок по технологиям электрохимической, ультразвуковой, электроэрозионной, комбинированной обработки. Широкой популярностью пользовались справочники по электрохимическим и электрофизическим методам обработки, изданные в разные годы под редакцией Л.Я. Попилова, В.А. Волосатова, Е.Ф. Немилова.

В Ивановском химико-технологическом институте д.т.н., профессором Е.М. Румянцевым была создана и эффективно работала школа по электрохимической размерной обработке. До прихода в ИХТИ Евгений Михайлович долгое время создавал новые технологии и оборудование на Ржевском электромеханическом заводе Министерства авиационной промышленности и обладал большим производственным опытом. Это помогло ему быстро освоиться в высшей школе, мобилизовать коллектив кафедры технологии электрохимических производств и создать на базе кафедры научную школу, представленную такими исследователями, как д.х.н. С.А. Лилин, к.т.н. В.М. Бурков, к.т.н. В.И. Волков, к.т.н. О.И. Невский, к.т.н. Т.Ф. Юдина, д.т.н. А.В. Балмасов, к.т.н. Е.П. Гришина и др.

Евгений Михайлович оставил после своего ухода в мир иной книгу воспоминаний о становлении и развитии элеткротехнологий [13]. В этой книге он сумел дать объективную оценку событиям и людям, создававшим наукоемкие отечественные технологии во второй половине прошлого века.

### *1.1.3. Настоящее и будущее научных школ*

Социально-экономический катаклизм 1990-х годов тяжело обрушился на российскую науку, отбросив большинство ее направлений, в том числе методы и технологии электрической обработки, с ведущих позиций в мировом рейтинге [20]. Наука понесла кадровые потери, часть первоклассных исследователей покинула страну, часть отошла от исследовательской работы. Разрушились налаженные связи науки с производством, резко сократилось финансирование научных исследований [1].

Интерес к проблеме идентификации научных школ возник в связи с инициированием программы поддержки ведущих научных школ (Постановление Правительства РФ «О грантах Президента Российской Федерации для поддержки научных исследований молодых российских ученых – докторов наук и государственной поддержки ведущих научных школ Российской Федерации» (№633 от 23 мая 1996г.). Программа сыграла позитивную роль, хотя результаты ее реализации и подвергались справедливой критике [21, 22].

Эта поддержка была вызвана бедственным состоянием российских научных школ на рубеже веков. Дело в том, что какую бы форму организации не принимали научные школы, вне зависимости от стадий становления и истории развития, *они могут существовать только при постоянном внимании администрации, при всесторонней поддержке, в том числе и финансовой, если это необходимо.* Непонимание этого привело к практическому исчезновению многих отечественных научных школ. В этой связи проблема идентификации научных школ стала актуальной по следующим причинам [22]:

- многолетнее существование научных школ доказало эффективное воздействие их на научно-технический прогресс;

- эффективное управление наукой, по существу, сводится к управлению научными коллективами, среди которых находится и научная школа как особый случай, способствующий высокой интенсификации труда;

- именно научные школы, являясь многоцелевыми объединениями, обеспечивают наряду с получением новых знаний «воспроизводство» научной культуры в следующих поколениях ученых;

Эти признаки формируют лишь достаточные условия принадлежности к НШ, поэтому вопрос о достоверном отнесении данного научного коллектива к НШ и выделении ему адресной финансовой поддержки остается открытым.

Для его решения сформулированы принципы, выполнение которых дает объективную возможность осуществлять с помощью механизмов финансирования реальное управление развитием и деятельностью научных школ:

1. *Принцип признания научным сообществом актуальности данной научной проблемы;*

2. *Принцип самоидентификации* – финансирование научного коллектива будет означать его готовность решать крупную, актуальную научную задачу;

3. *Принцип конкретики* решаемой актуальной проблемы (четко и внятно сформулированное задание с конкретным результатом и сроками исполнения);

4. *Принцип безусловной ответственности за результат НИР.* Несоответствие полученных результатов затраченным ресурсам означает отказ от финансирования или существенное снижение финансирования последующих исследований данного коллектива;

5. *Принцип исполнительской дисциплины;*

6. *Принцип нулевого отсчета,* заключающийся в отказе от практики финансирования НИИ под ее сложившийся имидж, под служебное положение руководителя, под сложившиеся в ней научные авторитеты, под административный ресурс.

На рис. 1.1 представлена схема, поясняющая естественно-научный путь развития технологической науки на базе системы научных школ. Сердцевиной, ядром данного пути является научный творческий коллектив во главе со своим лидером, формирующий научную школу, отвечающую сформулированным выше признакам. Ядро окружено информационной оболочкой, формирующей базу знаний школы и перечень востребованных проблем развития научного направления.

В основе развития школы лежит, прежде всего, логика развития основной фундаментальной науки (наук), формирующей базу теоретических знаний, методологию и инструментарий теоретических исследований. Цель этих исследований носит двоякий характер:

– выявление и обоснование новых научно-технических эффектов (например, физико-технических), которые можно использовать в данной предметной прикладной области [23];

– теоретическое обоснование постановки и результатов экспериментальных исследований в прикладной области.

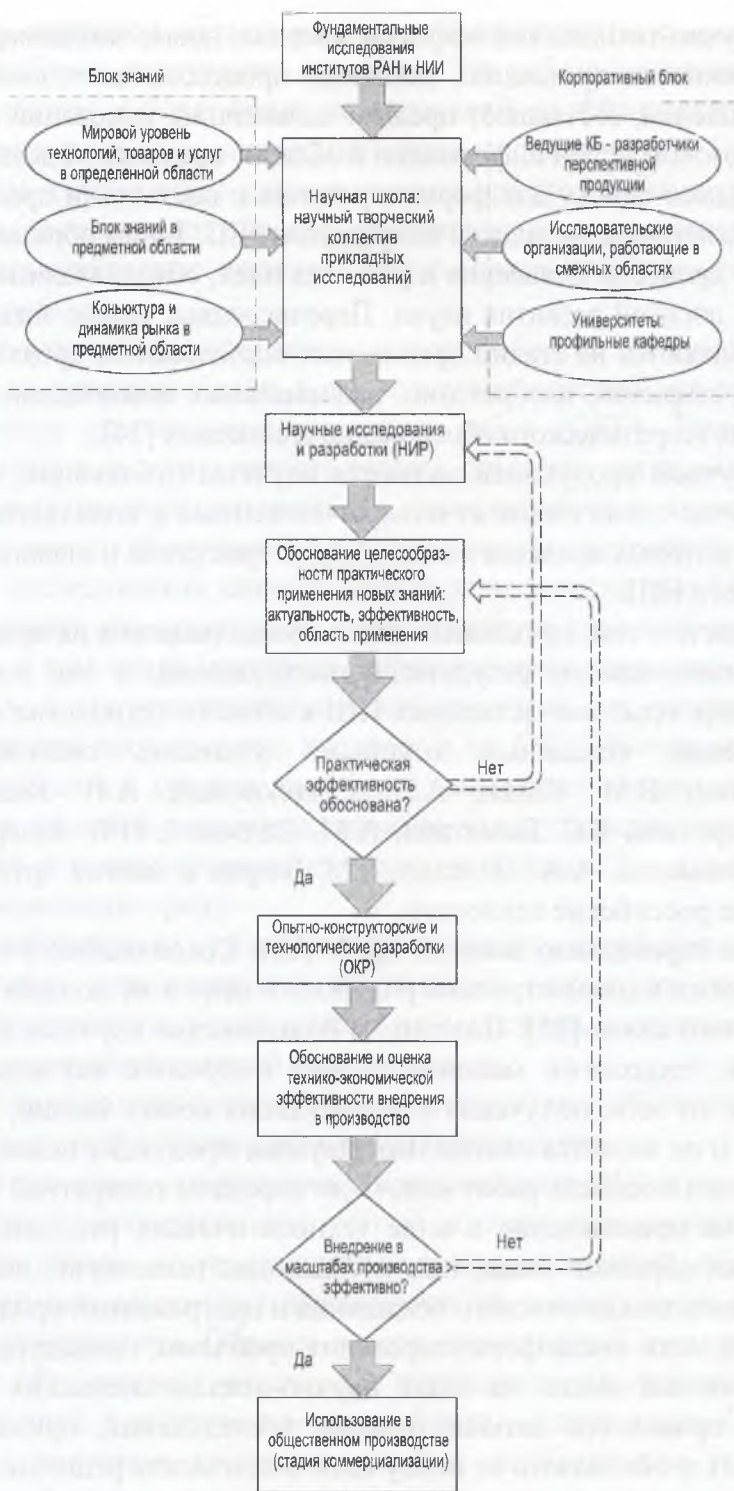


Рис. 1.1. Естественно-научный путь развития технологической науки



Научно-технические эффекты, явления, новые закономерности и особенности протекания основных процессов дают пищу для размышлений, составляют предмет дальнейших инноваций и вместе с потоком новой информации в области предметной деятельности создают основу для формулирования и постановки проблем и задач развития прикладного направления НШ. Таким образом, протекают процессы появления и развития идей, обусловленные внутренней логикой развития науки. Перечисленные новые знания часто появляются на стадии прикладных исследований, проявляются в виде открытий, изобретений, рациональных нововведений, требующих теоретического обоснования и описания [24].

Научной продукцией являются научные публикации, патенты, научно-технические отчеты, качественный и количественный анализ которых является важной характеристикой и оценкой деятельности НШ.

Вместе с тем, прикладная наука всегда нацелена на практическое использование результатов исследований, о чем говорит, например, опыт отечественных НШ в области технологии машиностроения, созданных крупными учеными, такими, как И.А.Тиме, В.М. Кован, А.П. Соколовский, А.И. Каширин, В.С. Корсаков, Б.С. Балакшин, А.М. Дальский, П.И. Яшерин, Ф.С. Демьянюк, А.А. Маталин, Б.М. Базров и многие другие известные российские технологи.

Как справедливо заметил проф. А.П. Соколовский, учение о технологии машиностроения родилось в цехе и не должно порывать с ним связи [25]. Поэтому, в большинстве научных школ в области технологии машиностроения получение научной продукции, то есть, получение и аккумуляция новых знаний, не являлось и не является самоцелью. Научная продукция используется для продолжения работ вплоть до передачи конкретной разработки на производство в виде технологических рекомендаций, опытных образцов новых или улучшенных технологий, включая средства технологического оснащения и программный продукт.

Для этого после формулирования проблемы, процедура которого описана выше, на этапе научно-исследовательских работ (НИР) проводятся дополнительные исследования, призванные уточнить и обосновать ее наилучшее техническое решение. В ряде случаев такое решение не очевидно, и приходится рассматри-

вать и оценивать несколько решений-альтернатив с последующим выбором наилучшего варианта. Эта работа сопровождается проведением лабораторных исследований на физических моделях, использованием математического моделирования. Как правило, на данном этапе удастся оценить предполагаемые технические характеристики объекта проектирования, произвести предварительную технико-экономическую оценку принятого технического решения.

Полученные данные позволяют разработать техническое задание на проектирование, которое служит основой для проведения этапа опытно-конструкторских работ (ОКР). Проводятся проектные и конструкторские работы, создается технологическая и конструкторская документация, изготавливают и испытывают макеты нового оборудования или технического устройства.

В исследованиях инновационной деятельности этап ОКР рассматривают, как границу, за которой следует этап коммерциализации, в том числе маркетинг, тиражирование созданных виртуальных и материализованных нововведений, их расширенное внедрение в производство, продажа и пр. [26]. Обычно, из-за недостатка сил и средств на стадии коммерциализации научные школы участвуют опосредствованно (консультации, авторский надзор), и к делу привлекаются другие организации, входящие в инновационную среду.

Таким образом, научная школа в процессе своей деятельности производит технологические инновации и доводит их до стадии коммерциализации, руководствуясь двумя основными принципами:

- внутренней логикой развития науки;
- производственными (общественными) потребностями в достаточно узкой области предметной деятельности.

Поток таких нововведений, производимых НИИ и иными институтами организации совместной деятельности ученых, образует постоянно воспроизводимый рынок инноваций, обеспечивающий инновационную деятельность на последующих стадиях коммерциализации. Образно говоря, директивный путь развития науки обеспечивает управление инновационной деятельностью сверху вниз, а естественно-научный путь – снизу вверх. Очевидно, их разумное сочетание является необходимым условием успешной инновационной деятельности.

## 1.2. Международное сообщество электротехнологов: прошлое, настоящее и будущее

Технологии, основанные на физико-химических методах обработки (ТФХО), рассматривают, как ключевые наукоемкие технологии [20, 27]. 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, проводимого раз в три года, начиная с 1960 г. (табл. 1.1) [28]. Подобные исследования проводились ранее, однако при значительно меньшем объеме статистических данных [29, 30].

Таблица 1.1

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

Материалы этого симпозиума рецензируются. Они 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 организацией мирового научного сообщества в области технологии машиностроения. С целью оцен-

ки достоверности результатов проводились также анализ публикаций по выделенной тематике по материалам российского реферативного журнала «Технология машиностроения» и сопоставление полученных результатов [31].

Уровень научного потенциала стран мира в рассматриваемой области мирового технологического пространства оценивался по степени их участия в этом форуме (количество представленных докладов). Продолжительный период времени (50 лет) позволяет нивелировать случайные факторы.

### ***1.2.1. Статистические исследования динамики развития наукоемких технологий электрической обработки***

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.

На рис. 1.2 показаны изменения во времени числа стран-участниц Международного симпозиума (ISEM), количества новых технологических направлений и общего числа представленных докладов. Под технологическим направлением в нашем случае понимают не только технологии, основанные на новом методе обработки [32], но и новые применения известных методов, например, аддитивные технологии [33], технологии микро- и нанобработки [34] и пр.

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. 1.3). 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) явились, прежде всего, следствием мирового экономического кризиса.

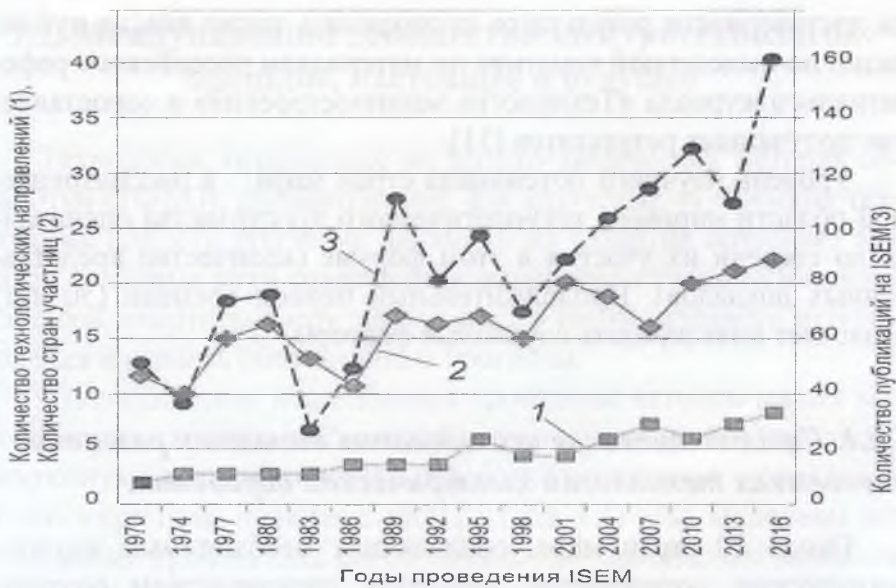


Рис. 1.2. Динамика числа технологических направлений (1), количества стран-участниц (2) и количества представленных докладов по материалам ISEM (3)

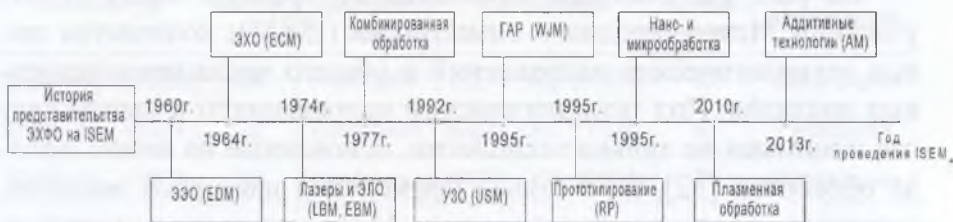


Рис. 1.3. Новые технологические направления на симпозиумах ISEM

Если число научных направлений возрастает монотонно, 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 Жугляра 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 научных исследований.

На рис. 1.4 показано распределение представленных докладов по отдельным направлениям физико-химической обработки. Видно, что электроэрозионная обработка, доля которой составляет 50–55%, занимает стабильное и доминирующее положение. Напротив, доля работ по электрохимической обработке в начале 80-х резко снизилась, а затем стабилизировалась на уровне 15–20%.

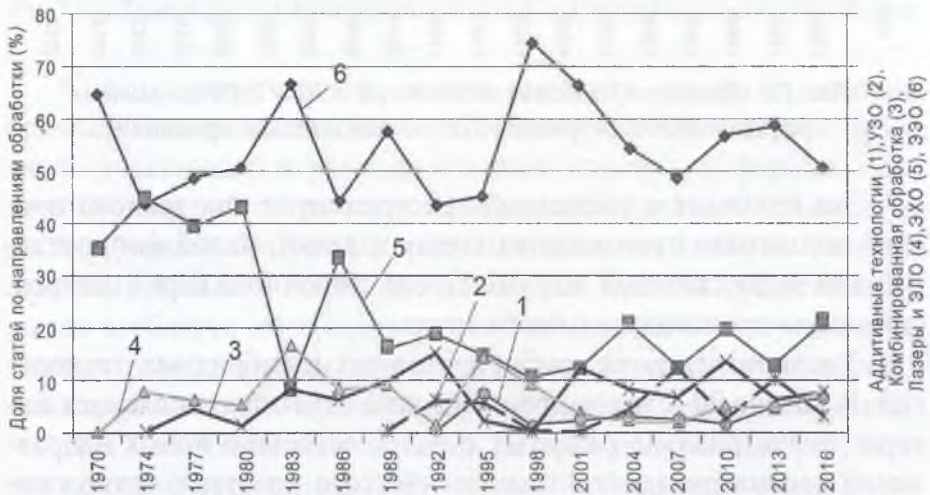


Рис. 1.4. Динамика развития отдельных методов и технологий физико-химической обработки по данным ISEM (по оси ординат — доля статей по направлениям обработки)

Анализ научных публикаций по этой тематике по данным реферативного журнала «Технология машиностроения», проведенный за период с 1980 по 2016 г. показал примерно те же результаты (рис. 1.5), что подтверждает взаимосвязь динамики развития физико-химических методов и технологий в странах мира с их уровнем публикационной активности. Это указывает на правомерность используемой нами выборки (ISEM) и подтверждает достоверность результатов.

Спад публикационной активности в области ЭХО с начала 80-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 основных недостатков технологий, основанных на методе прямого копирования, — *низкий уровень унификации технологий ЭХО.*

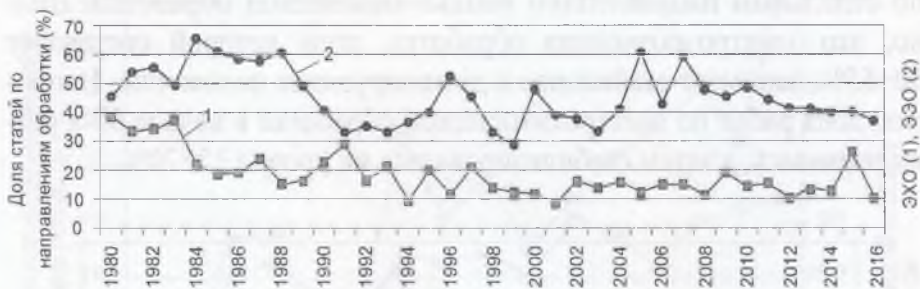


Рис. 1.5. Динамика развития технологий ЭЭО и ЭХО по данным реферативного журнала «Технология машиностроения»

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

Увеличилась доля комбинированных и гибридных технологий. В начале 90-х годов прошлого века отчетливо проявился интерес индустриально развитых стран к освоению новых направлений рассматриваемого технологического кластера: 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.

С развитием машиностроения: появлением новых материалов, усложнением решаемых задач в сфере производства – заметно изменяется вектор направления 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. 1.6).

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

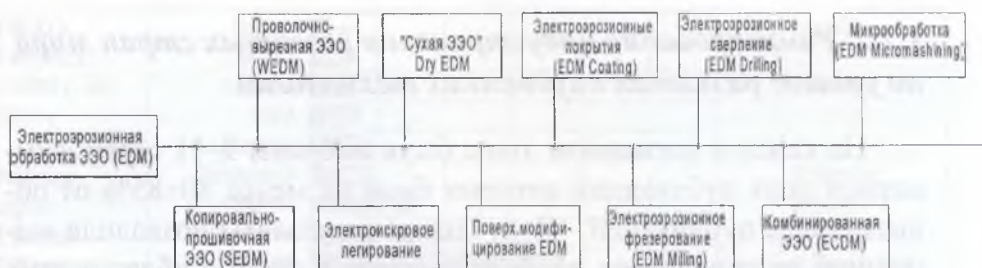


Рис. 1.6. Тенденции в развитии технологий электроэрозионной обработки

Среди стран-участниц можно выделить страны с высоким промышленным потенциалом в области ТФХО, которые регулярно участвовали и участвуют в этом всемирном форуме. 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 индустриального 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 – с 1970 по 1980 г., 2 – с 1980 по 1992 г., 3 – с 1992 по 2004 г., 4 – с 2004 по 2016 г. Это позволило выявить тенденции развития этих технологий в различных странах мира. На рис. 1.7 представлена публикационная активность ведущих индустриальных стран мира за указанный период времени.

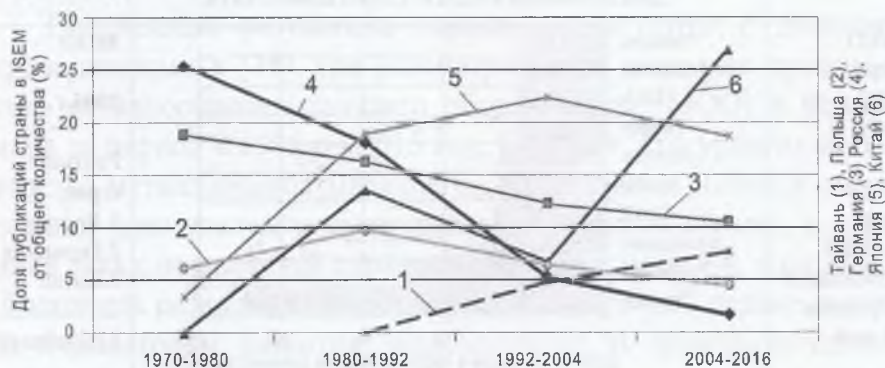


Рис. 1.7. Динамика развития ТФХО в различных странах мира



### 1.2.2. 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. 1.8), а в табл. 1.2 показано изменение рейтинга стран по их доле научных публикаций в общем объеме научных публикаций в ISEM.

<p><b>ТФХО</b> 1 период: с 1970 г. по 1980 г.</p> <p>Рейтинг стран: 1. СССР 2. ФРГ 3. Швейцария</p>	<p>Доля публикаций в ISEM от общего количества (%)</p>	<p><b>МОО</b> <b>1967 г.</b></p> <p>Рейтинг стран: 1. СССР 2. ФРГ 3. Япония</p>
<p><b>ТФХО</b> 2 период: с 1980 г. по 1992 г.</p> <p>Рейтинг стран: 1. Япония 2. СССР 3. ФРГ</p>	<p>Доля публикаций в ISEM от общего количества (%)</p>	<p><b>МОО</b> <b>1986 г.</b></p> <p>Рейтинг стран: 1. Япония 2. ФРГ 3. СССР</p>
<p><b>ТФХО</b> 3 период: с 1992 г. по 2004 г.</p> <p>Рейтинг стран: 1. Япония 2. Швейцария 3. Германия 4. Китай ..... 7. Россия</p>	<p>Доля публикаций в ISEM от общего количества (%)</p>	<p><b>МОО</b> <b>2005 г.</b></p> <p>Рейтинг стран: 1. Япония 2. Германия 3. Китай ..... 8. Швейцария ..... 22. Россия</p>



водстве МОО – и их доля в мировом производстве станков и кузнечно-прессового оборудования 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 повышение темпа роста мировой экономики.

Отметим резкое снижение рейтинга России с 1–2 до 15 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. На возможность подобного развития событий указывал академик К.В. Фролов в конце 90-х годов. Деградация наукоемких технологий в России является следствием заметного снижения социально-экономических показателей развития страны, вызванного гуманитарным коллапсом 90-х годов.

### ***1.2.3. Взаимосвязь уровня развития ТФХО с социально-экономическими показателями развития ведущих стран мира***

Интересно сравнить уровень развития ТФХО в развитых странах с иными показателями их социально-экономического развития, представленными в табл. 1.3. 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 [35]. Эти индексы отражают уровень машиностроительного потенциала страны.

Индекс глобальной конкурентоспособности (ИГК) является комплексным показателем, оцениваемым по 16 единичным показателям, его значения приводятся по данным [36]. Значения индекса развития человеческого потенциала (ИРЧП) также позаимствованы в работе [36]. Из данных табл. 1.3 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 ИРНТ) заметно опережают социально-экономические показатели, что отражает, по-видимому, некоторую инерционность последних.

Таблица 1.3

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

На фоне этого 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 импортная зависимость в высокотехнологичном оборудовании. Это наиболее опасно для страны в условиях санкций и ограничений на экспорт технологий и оборудования в Россию, политической нестабильности в мире. Доля импорта наукоемкой продукции составляет более 80% [35].

В сложившейся геополитической ситуации и в условиях ограниченных ресурсов вопросы выбора приоритетных направлений развития наукоемких технологий становятся, как никогда, актуальными. 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.

В 1960-70-е годы прошлого века в мировом технологическом пространстве при активном участии отечественных ученых, прежде всего, В.Н. Гусева, Б.Р. Лазаренко, Б.Н. Золотых, Ф.В. Седыкина сформировалось и интенсивно развивается новое научное направ-

ление в технологии машиностроения – кластер методов и технологий физико-химической обработки материалов.

К числу стран – лидеров этого направления, относятся страны с высоким индексом индустриального развития, соответствующими научно-техническим, инновационным и человеческим потенциалами, обеспечивающими 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.

Если индустриально-развитые страны мира интенсивно наращивают свой научно-технический потенциал и прилагают усилия по развитию методов физико-химической обработки, то в России за последние 20–25 лет это технологическое направление деградировало, и рейтинг страны заметно снизился.

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

За последние тридцать 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.

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

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

## ГЛАВА 2

# ОСНОВОПОЛОЖНИКИ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЙ

### 2.1. Владимир Николаевич Гусев – первый среди первых\*

Многие статьи, книги, авторефераты диссертаций, посвященные тем либо иным аспектам электрохимической обработки, начинались и начинаются упоминанием о том, что изобретателем этого метода обработки является советский ученый и инженер Гусев Владимир Николаевич, который в 1928 г. вместе со своим сотрудником Рожковым получил авторское свидетельство на изобретение.



**Владимир Николаевич  
ГУСЕВ**  
(1904–1954)

И на этом точка. Больше, кажется, никто и ничего не знал. А кто такой был В.Н. Гусев? Что это, рядовое явление в нашей науке и практике или это самородок, который в дальнейшем определил во многом судьбу технологии машиностроения? Предоставим слово его сотруднику, который длительное время работал с ним, был заместителем его, как начальника лаборатории, И.Я. Богораду, к.т.н., лауреату Государственной премии СССР.

В.Н. Гусев в 1930 г. окончил электромеханический факультет Ленинградского политехнического института и начал трудовую деятельность на Ленинградском машиностроительном заводе «Большевик». За период работы на заводе он довел до проверки в производственных условиях и внедрения ряда технологий, основанных на способах электрохимического сверления, шабрения и чистовой обработки изделий и нового способа электрохимического изготовления штампов.

\* Приведен отрывок из книги Е.М. Румянцева [13] с незначительной редакцией.

В 1936 г. В.Н. Гусев был переведен на другую работу, связанную с решением особо важной народнохозяйственной проблемы, поэтому, работы по электрохимической обработке были в значительной степени сокращены. Они возобновились лишь в 1943 г. в связи с острой потребностью в технологиях обработки твердосплавного инструмента на оборонных предприятиях в условиях войны.

К решению этой задачи В.Н. Гусев приступил по инициативе Пермского и Горьковского заводов. Начатые в Перми работы были перенесены в 1944 г. в Ленинградский институт металлов, в созданную для него хорошо оснащенную лабораторию. В 50-х... 60-х годах в этой лаборатории были разработаны и применены в производстве на ленинградских и других заводах технологии, основанные на способах электрохимической обработки. К ним относятся технологии анодно-механической заточки инструмента, анодно-механической резки, анодно-механической обработки глубоких отверстий, анодно-механического полирования больших поверхностей, анодно-механического шлифования матриц.

В.Н. Гусевым определены основные закономерности протекания перечисленных процессов, сформулированы требования к технологическому оборудованию, разработаны, апробированы и внедрены в производство первые типы соответствующих станков.

Были разработаны следующие основные способы обработки.

1. А.с. СССР №30904 с приоритетом от 27.11.28 г. – «Анодное растворение при высоких плотностях тока с удалением анодных продуктов потоком электролитов». В этом способе отличительными чертами являются высокие плотности тока, малые межэлектродные зазоры, интенсивная прокачка рабочей жидкости через межэлектродный зазор. Эти особенности протекания процесса растворения на протяжении многих лет являлись определяющими в его развитии. Они лежат в основе созданной теории процесса высокоскоростного анодного растворения и отражены в функциональных схемах разработанного за это время разнообразного оборудования.

2. А.с. СССР №34253 с приоритетом от 20.06.31 г. – «Сглаживание обрабатываемой поверхности, являющейся анодом и повышение производительности ее чистовой обработки путем ме-

ханического удаления образующихся на ней в результате электролиза анодных продуктов электронейтральным инструментом».

3. А.с. СССР №90516 с приоритетом от 08.09.43 г. – «Регулирование электрического режима для определения доли электрохимического и электроэрозионного процессов в каждом конкретном случае».

Одновременно с использованием электрохимического растворения для целей формообразования В.Н. Гусев изобрел способ электрохимической чистовой обработки, предназначенный для ускорения операций шабрения и чистовой отделки металлических поверхностей. *Открытая им возможность пространственно-временного совмещения электрохимического и электроэрозионного съема металла породила комбинированный электроэрозионно-электрохимический метод обработки.* На его основе появилась технология заточки твердосплавных резцов, обеспечивающая за счет изменения электрических параметров режима проведение чернового, чистового и доводочного переходов с одного установа. Для ее реализации в 50-х годах на заводах Перми, Ленинграда, Горького, Коломны использовали модернизированные абразивные заточные станки.

В начале 50-х В.Н. Гусевым была продолжена работа по электрохимическому растворению металлов в потоке электролита, начатая им в 1928 году. Основанный на этом процессе метод обработки известен в настоящее время, как электрохимическая размерная обработка. В.Н. Гусев вместе со своим братом Н.Н. Гусевым исследовали этот процесс применительно к технологии изготовления штамповой оснастки. О плодотворной совместной работе братьев Гусевых в этот период над совершенствованием технологий электрохимической обработки вспоминали многие ветераны оборонных заводов страны.

В.Н. Гусев придавал большое значение быстрому использованию предложенных им способов и технологий в производстве. Это проявлялось в форсированной разработке рабочего технологического процесса, проектировании упрощенного оборудования, применении модернизированного оборудования, в ускоренном выпуске нормативно-технической документации на новые технологии, в издании технической литературы, рассчитанной на работников заводов и проектно-конструкторских организаций.



Уместно отметить, что В.Н. Гусев являлся инициатором издания широко известной среди специалистов «Библиотеки электротехнолога».

В 1947 г. в Ленинграде состоялась первая научно-техническая конференция по теории и практике применения электрообработки металлов, на которой был широко представлен опыт промышленного применения различных технологий электрохимической и комбинированной обработки, в том числе, результаты разработок лаборатории, руководимой В.Н. Гусевым.

Главной особенностью В.Н. Гусева при решении каких-либо интересующих его задач был не предвзятый, не тривиальный, а оригинальный подход к выбору путей ее решения. Он отчетливо понимал, что использование традиционных в данной области методов не дает возможности решить трудную проблему, поскольку узкие специалисты исчерпали свои возможности, и возникла необходимость поиска нестандартных решений. Так, например, было с обработкой металлов резанием. В совершенствовании этого способа специалисты по резанию материалов зашли в тупик с появлением новых функциональных сплавов с низкой обрабатываемостью резанием.

Следует заметить, что, наряду с электрохимической обработкой, все другие проблемы, над которыми работал В.Н. Гусев, носили также экстремальный характер, поскольку узкие специалисты не могли их решить традиционными методами.

Таким образом, В.Н. Гусев избегал традиционных путей решения новых технологических задач, изыскивал новые методы их решения, используя свой богатый арсенал знаний в различных областях науки и техники. Ему было присуще отчетливое понимание основных тенденций развития машиностроения и народнохозяйственное значение поставленных перед ним задач. В 30-е годы, когда он стал заниматься электрохимической обработкой металлов, этот способ мог иметь лишь ограниченное применение, но логика развития техники делала ЭХО весьма перспективной. Работая в этой области, он подготовил промышленную технологию электрохимической обработки к 60-м годам, когда появилась общественная потребность в таких технологиях. На основе его работ новый способ и технологии на его основе смогли быстро распространиться и получить широкое промышленное применение.

Творческая работа В.Н. Гусева всегда складывалась из нескольких этапов: выбор перспективных путей решения поставленных задач, разработка практических способов их реализации, исследование основных закономерностей протекания процессов, разработка опытно-технологического производственного процесса и оборудования, применение его в промышленных условиях.

Основное внимание он уделял первому и второму этапам этой работы. Это связано с особой ответственностью этих этапов, поскольку от них в решающей степени зависит эффективность и новизна промышленной технологии. Но главную роль играло то, что именно на этих этапах специфическая творческая активность В.Н. Гусева, его способность к преодолению многочисленных технических затруднений давали наибольшую отдачу. Он мог проводить десятки поисковых опытов, чтобы найти принципиальное положительное решение поставленной задачи. В этих опытах использовались различные явления и процессы из различных областей науки и техники. Рабочие программы этих опытов требовали реализации всех творческих возможностей исполнителей, поэтому, в течение периода поисковых работ В.Н. Гусев целиком сосредотачивался на достижении поставленной цели. Он проявлял при этом исключительную настойчивость и целеустремленность, никогда не бросал работу на половине пути из-за появившихся, казалось бы, непреодолимых трудностей.

Сотрудники, работавшие с ним в НИИ-13 в начале 60-х годов (В.Н. Гусев скончался в 1954 г.), рассказывали интересный эпизод из его творческой деятельности. Обычно, начиная ту или иную работу, мы по сложившейся традиции исследуем так называемое состояние вопроса по материалам периодической научно-технической литературы. Если при этом находим что-то интересное, сходное с решаемыми нами задачами, то бываем очень рады – найден один из путей решения! Одни из исследователей относятся к полученной информации критически, стараясь усовершенствовать схему, процесс, технологию, другие спешат повторить найденное решение – зачем думать, проблема уже решена.

В.Н. Гусев работал по-другому. Когда сотрудники приносили ему журналы, с информацией, которая помогла бы им решить ту или иную технологическую проблему, он убирал их в стол и говорил, что эту информацию будем смотреть после решения про-

блемы, и сравним результаты! Он считал, что полученная информация вряд ли сможет быть воспроизведена, но нанести вред она сможет, так как наложит отпечаток на ваше мышление, вы заикнитесь, перестанете думать.

Наверное, поэтому, его разработки всегда были оригинальными. Эксперименты и исследование закономерностей процесса обработки обычно заканчиваются после накопления достаточного объема исходных данных, необходимых для создания опытной технологии и оборудования. В.Н. Гусев лично или через своих сотрудников постоянно поддерживал связь с предприятиями, где применялись его изобретения. Обычно на заводе организовывался опытно-экспериментальный участок, на котором выполнялись и производственные заказы. В.Н. Гусев постоянно интересовался опытом работы этих участков, потому что в процессе промышленной доработки опытной технологии часто возникали различные предложения по улучшению процесса со стороны заводских работников.

Такие участки были созданы на Ленинградском заводе «Большевик», Ленинградском металлическом, Ижорском, Горьковском машиностроительных заводах и других предприятиях. Особо следует отметить связь В.Н. Гусева с Ленинградским заводом им. М.В. Фрунзе, где впервые осуществили анодно-механическую заточку твердосплавных фрез, на модернизированном заточном станке, впервые проведены работы по анодно-механическому шлифованию с применением токопроводящих абразивных кругов, освоена анодно-механическая резка стали повышенной прочности.

Не отличаясь красноречием, но обладая четким, целеустремленным и логическим мышлением В.Н. Гусев избегал в своей речи пустых слов. Его лекции и доклады были настолько ясны и сжаты, что стенограммы практически не требовали правки. Он был скромным, избегал писать статьи о своих работах, привлекая к публикации результатов своих сотрудников. Главными критериями оценки своих и чужих работ являлись у него простота и остроумие решения задач, народнохозяйственное значение этих решений.

В.Н. Гусев руководил в Ленинградском институте металлов лабораторией электрообработки металлов, которая охватывала все работы по указанной тематике и перечисленные выше этапы

этих работ. Он ценил в сотрудниках лаборатории инициативность при выполнении работ и выбирал сотрудников по этому критерию с учетом их квалификации. Под его руководством сложился постоянный коллектив, в котором сотрудники специализировались по отдельным видам работ и в то же время оперативно поддерживали между собой деловые контакты. В числе постоянных сотрудников лаборатории были И.Я. Богорад, М.А. Александров, Н.Н. Гусев, Е.А. Дрозд, Л.П. Казарин, А.Д. Жандарев, К.А. Карасина, В.Г. Кузнецов, И.И. Косолапов, Н.Г. Микелов, А.Г. Рябинин, Н.Р. Четыркин.

В.Н. Гусев был широко эрудирован в различных областях науки и техники, получив разностороннее образование в Ленинградском политехническом институте в 30-х годах. Несомненно, сказалось и влияние его отца – крупного инженера-технолога, работавшего на Путиловском заводе.

Многими сотрудниками отмечалась исключительная простота, с которой он формулировал свои мысли. Анализируя его выступления на конференциях 30-40-х годов и сопоставляя высказанные тогда идеи и пути их решения с публикациями 80-х годов по этой тематике других авторов, приходишь к выводу о том, что В.Н. Гусев уже в те годы, как ученый, инженер и изобретатель мыслил сегодняшними мерками. Он был высоким профессионалом в области электротехнологий.

Ряд специальных терминов и определений, широко используемых в понятийном аппарате электротехнологий, введены в практику именно Владимиром Николаевичем Гусевым. Так, понятие *локализации процесса растворения* использовано В.Н. Гусевым еще в 1943 г. в одном из технических бюллетеней, которые он редактировал в помощь электротехнологам.

В своих выступлениях на конференциях по электрообработке В.Н. Гусев не только предопределил основные пути развития соответствующих технологий, но и предвосхитил значительное расширение сферы их эффективного применения.

Если посмотреть на спектр изобретенных В.Н. Гусевым и другими учеными-первооткрывателями способов электрохимической и комбинированной обработки, то можно констатировать, что в направлении расширения этого спектра мы по настоящее время продвинулись незначительно, хотя сфера применения та-

ких технологий, безусловно, расширилась. Практически мы, в основном, расширяем, углубляем знания о тех методах и способах, которые были изобретены В.Н. Гусевым. Мы расширили область их применения, но не за счет новых изобретений методов и способов обработки, а за счет более глубокого, более широкого использования их при производстве различных изделий в различных отраслях техники.

В связи со сказанным, следует отметить, что заслуги В.Н. Гусева в развитии методологии, получении новых знаний и внедрении новых технологий недостаточно оценены научной общественностью. Жизненный путь и проделанная им работа мало описаны в литературе. Может быть, это наша русская забывчивость, но, во всяком случае, В.Н. Гусев, как человек, ученый, инженер, специалист, профессионал, который дал путевку в жизнь целому научно-техническому направлению, достоин большего.

Значимость проделанной им работы высоко оценена государством. *За изобретения и внедрение основанных на них технологий электрохимической обработки и за особо важные работы в области оборонной тематики В.Н. Гусеву трижды присуждались Сталинские премии в области науки и техники.*

## **2.2. Борис Романович Лазаренко: этапы жизненного пути**

Лазаренко Борис Романович родился в 1910 г. в Москве. Окончил МГУ (1936). В 1935–1942 гг. работал на инженерных должностях во Всесоюзном электротехническом институте. В 1942–1948 гг. – научный сотрудник НИИ Министерства электропромышленности СССР.

С 1948 по 1961 г. директор Центральной научно-исследовательской лаборатории (ЦНИЛ) электрической обработки материалов. С конца 1955 по февраль 1958 г. находился в Китае в качестве советника при президенте АН КНР.

С 1961 г. – директор Института прикладной физики АН Молдавской ССР, с 1974 г. вице-президент АН МССР. Основатель и главный редактор журнала «Электронная обработка материалов».



**Борис Романович ЛАЗАРЕНКО**  
(1910–1979).

**Первооткрыватель  
и основоположник метода  
электроэрозионной обработки  
материалов (1943)**

Организатор и лидер Московской (1948–1961 гг.) и Кишиневской (1961–1979 гг.) научных школ в области электроэрозионной обработки и новых применений электричества.

### **2.2.1. Б.Р. Лазаренко – великий ученый и организатор науки\***

...Первые десятилетия развития электроискровых технологий практически все нынешние мировые лидеры только тем и занимались, что изучали советские достижения и пытались их копировать в своих установках. Основных причин ведущего положения СССР было, пожалуй, две: сама технология зародилась именно в этой стране и была применена для изготовления передовых систем вооружений.

*Б.Р. Лазаренко*

\* Приведены материалы статьи А.Д. Верхотурова и А.Е. Гитлевича [125]. Использованные в оригинальном тексте источники литературы включены в библиографический список настоящей монографии: [37]–[55].

В 1943 г. в г. Свердловске сотрудникам эвакуированного из Москвы Всесоюзного электротехнического института супругам Борису Романовичу и Наталье Иоасафовне Лазаренко было выдано авторское свидетельство «Способ обработки металлов и других токопроводящих материалов» [37].

Это событие, оставшееся в то время незамеченным, стало началом новой эпохи в тысячелетней истории технологии обработки материалов.

Существующие к тому времени методы обработки не обеспечивали в ряде случаев потребности оборонной промышленности в обработке изделий из новых конструкционных и инструментальных материалов [38]. Появился разрыв между возможностями металлургии (особенно порошковой), создающей материалы с новыми свойствами, и технологий их обработки. Требовался новый метод обработки материалов, возможности которого не зависели бы от их механических свойств.



**Наталья Иоасафовна  
ЛАЗАРЕНКО**

Супруги Лазаренко предложили использовать в качестве рабочего инструмента концентрированный поток заряженных частиц, возникающий при электрическом разряде в диэлектрической среде. Открытый ими электроэрозионный метод обработки (ЭЭО) дал возможность осуществлять не только размерное формообразование изделий из материалов, плохо обрабатываемых другими методами, но и изменять структуру, фазовый, химический состав поверхностного слоя материалов (электроискровое легирование, ЭИЛ), получать порошковые материалы заданных размеров (электроэрозионное диспергирование материалов, ЭЭД) и решать целый ряд других технологических задач [39].

Открытие метода ЭЭО стало результатом исследований Б.Р. Лазаренко, начатых в 1936 г. во Всесоюзном электротехническом институте (ВЭИ) в лаборатории проф. В.В. Усова, которая входила в состав отдела «Магнитные, проводниковые и контактные материалы», возглавляемого проф. А.С. Займовским. В осно-

ве этих исследований лежало изучение явления инверсии электрической эрозии металлов и методов борьбы с разрушением электрических контактов. Завершающий этап этой работы Б.Р. Лазаренко проводил в 1941–1943 годах в г. Свердловске (ныне – Екатеринбург), куда был эвакуирован ВЭИ. Все исследования проводились им совместно с Н.И. Лазаренко.

Было установлено, что за счёт электрической эрозии электродных материалов под действием импульсных разрядов могут быть получены порошки любых металлов, сплавов и металлических композиций.

Изучая влияние плотности тока на скорость образования порошковой массы, исследователи обнаружили, что электрод-катод, имеющий меньшую площадь, глубоко врежется в электрод-анод, при этом очень точно копирует на нём свою геометрическую форму и размеры. С помощью вращающегося диска, взятого в качестве катода, можно разрезать любые токопроводящие материалы. Так было установлено, что электроэрозионное разрушение можно использовать для формообразования деталей из любых токопроводящих материалов.

В апреле 1943 года Б.Р. и Н.И. Лазаренко возвращаются в Москву, и в июне 1943 года на Учёном совете ВЭИ Б.Р. Лазаренко защищает кандидатскую диссертацию на тему: «Инверсия электрической эрозии металлов и методы борьбы с разрушением контактов». По основной теме диссертационной работы было установлено, что электроды контактных систем всегда подвергаются электрической эрозии, что является отрицательным фактором для таких устройств. А обнаруженное в процессе исследования новое явление копирования формы и размера катода в материале анода за счёт его электроэрозионного разрушения при искровых разрядах в диэлектрической жидкости можно использовать, как метод размерного формообразования деталей из любых токопроводящих материалов.

Поскольку в основе рассматриваемого метода лежит физический процесс, называемый электрической эрозией металлов, а разрядные импульсы в большинстве случаев характеризуют искровую форму электрического разряда, авторы уже в первых публикациях дали ему название «Электроэрозионная обработка металлов» (ЭЭО) [40] или «Электроискровая обработка метал-



лов» (ЭИО) [41]. С тех пор эти названия метода используют в технической литературе [42, 43].

Для изучения физических и технологических аспектов данного способа и разработки оборудования для проведения процесса ЭЭО токопроводящих материалов лаборатория, которую возглавил Б.Р. Лазаренко, была выделена из отдела проф. А.С. Займовского. Несмотря на тяжёлые военные и первые послевоенные годы, поражает исключительно интенсивная и плодотворная научно-исследовательская и прикладная деятельность создателей метода ЭЭО. В 1944 году выходит в свет их первая книга [40], ставшая сенсацией в области технологии обработки металлов. В этой, первой в мире работе, посвящённой ЭЭО, были намечены основные области использования ЭЭО в технологии машиностроения.

Через год во второй книге этих же авторов с таким же названием [44] были приведены конкретные конструкции электроэрозионных станков и описаны основные технологические характеристики электроэрозионного метода обработки металлов. В этот же период под руководством Б.Р. Лазаренко небольшой коллектив лаборатории впервые в мире создал ряд образцов электроэрозионных станков для изготовления штампов, гравирования, заточки инструмента, копировально-прошивочных работ, резки металла. Эти разработки открыли путь для начала промышленного внедрения ЭЭО и послужили началом бурного развития ЭЭО в технологии машиностроения не только в СССР, но и за рубежом.

Весь комплекс работ, выполненных Б.Р. и Н.И. Лазаренко с 1943 по 1945 годы, был высоко оценён государством – в июне 1946 году им была присуждена Сталинская премия. В июне 1948 г. Б.Р. Лазаренко защитил в Московском высшем техническом училище имени Н.Э. Баумана докторскую диссертацию на тему: «Электроискровой способ обработки металлов».

На защите диссертации, говоря об ЭЭО, Б.Р. Лазаренко с присущей ему прозорливостью произнес: «...не может быть причин, которые бы приостановили развитие и движение этого революционного процесса, ломающего существующие представления об обработке материалов. Ему принадлежит будущее, и притом – ближайшее будущее». Последующий ход развития ЭЭО металлов подтвердил его пророческие слова.

Большой объём физических и технологических исследований по ЭЭО и значительный интерес к использованию результатов исследований в машиностроении потребовали расширения фронта работ. Поэтому в 1948 году в составе НИИ электромеханики было организовано новое подразделение – «Центральная научно-исследовательская лаборатория электрических методов обработки материалов» (ЦНИЛ-Электром), которую возглавил Б.Р. Лазаренко. В дальнейшем ЦНИЛ-Электром стала самостоятельной организацией, а в 1955 году вошла в систему АН СССР со статусом самостоятельного научно-исследовательского учреждения с непосредственным подчинением Президиуму АН СССР.

Об этом, далеко не рядовом событии для становления и развития ЭЭО, и о том, как оно проходило, рассказал в своих воспоминаниях один из самых первых и талантливых его учеников – Борис Никифорович Золотых, впоследствии д.т.н., профессор, заслуженный деятель науки и техники РСФСР. Он отмечал, что к 1955 году лаборатория, по сути дела, превратилась в научно-исследовательский центр общегосударственного значения [45].

К сожалению, следует отметить, что непонимание важности интенсивного развития и широкого использования ЭЭО в машиностроении со стороны таких организаций, как Министерство станкостроительной и инструментальной промышленности СССР, его КБ, НИИ, ЭНИМС и руководящих специалистов этих организаций, сыграло негативное влияние в развитии метода. Такое отношение к Б.Р. Лазаренко и его коллективу стало одной из причин последующего отставания России в области теории и практики ЭЭО материалов [46].

Большой научный задел, который Борис Романович успел создать за период 1943-1948 годов, наличие молодого талантливого коллектива и невероятная работоспособность руководителя этого коллектива заложили фундамент для дальнейшего развития и практического использования ЭЭО в промышленности. Уже в 1947 году в Ленинграде инженерами Е.М. Левинсоном и Е.И. Владимировым при участии Б.Р. Лазаренко был создан первый промышленный вариант копировально-прошивочного станка с автоматическим приводом подачи электрода-инструмента в процессе обработки.

Значительный резонанс вызвала работа (при поддержке ЦНИЛ-Электром) инженеров Ленинградского карбюраторного завода, где электроискровое изготовление отверстий диаметром 0,15 мм в деталях дизельной топливной аппаратуры, взамен механического сверления, было использовано в массовом производстве. Замена ручного механического сверления на электроискровую обработку на одном станке позволила снизить брак с 50% до 0,5% при повышении производительности труда в 6 раз, а при использовании полуавтоматических электроискровых установок производительность одного оператора поднялась в 300 раз [47]. Было показано, что использование этого процесса не только повышает производительность в десятки, а в отдельных случаях в сотни раз, но и позволяет создавать элементы деталей для новых приборов, которые невозможно изготовить другими методами [48, 49].

Замечательным примером совместной научно-исследовательской и конструкторской работы ЦНИЛ-Электром и НПП «Исток» является создание первого в мире промышленного прецизионного электроэрозионного проволочно-вырезного станка с числовым программным управлением (мод. 4531). Поток таких разработок и внедрений нарастал очень быстро, так как эффект от использования ЭЭО, как правило, коренным образом менял технологию и культуру производства, а при определённой организации процесса обработки резко повышал производительность изготовления изделий, что высоко поднимало экономическую планку ЭЭО.

Создав для мира техники принципиально новые способы обработки токопроводящих материалов, Б.Р. Лазаренко понимал, что для глубокого изучения и внедрения в производство этих способов необходимы увлечённые и инициативные специалисты с высоким уровнем подготовки. Поэтому, значительная часть его творческой жизни была связана с организацией научно-технического коллектива и передаче своих идей, знаний и опыта ученикам, которые смогли бы реализовать в настоящем и будущем все возможности, сделанного Б.Р. и Н.И. Лазаренко изобретения.



**Академики Б.Р. Лазаренко  
и Н.Д. Девятков прибыли  
в НПО «Исток»**



**Б.Н. Золотых,  
д.т.н., профессор, заслуженный  
деятель науки и техники  
РСФСР**



**М. К. Мицкевич,  
д.т.н., профессор, лауреат  
Государственной премии**



**Б.И. Ставицкий,  
к.т.н., лауреат  
Ленинской премии**

Так, в 1945 г. в НИИ электромеханики была открыта аспирантура, и в лаборатории Б.Р. Лазаренко появился первый аспирант – Борис Никифорович Золотых, выпускник физического факультета МГУ.

Учитывая уровень и качество его подготовки, Борис Романович нацелил своего аспиранта на теоретические и экспериментальные работы по исследованию физических процессов, протекающих при электрической эрозии материалов. В последующем Б.Н. Золотых создал модель процесса ЭЭО, основанную на тепловых явлениях (плоских источников тепла), возникающих на электродах при низковольтных импульсных разрядах в жидкости. В начале 1948 года он защитил кандидатскую диссертацию на тему: «О некоторых закономерностях искровой электрической эрозии металлов в жидкой диэлектрической среде». Это была первая работа в области изучения физической природы ЭЭО металлов.

Кандидатская и последующая докторская (1968 г.) диссертации Б.Н. Золотых создали теоретические и технологические основы процесса ЭЭО [50]. В этих работах проведены фундаментальные исследования природы электрической эрозии металлов, на основании которых была разработана общая физическая теория ЭЭО и предложены методы расчёта параметров режима обработки.

После защиты диссертационной работы Б.Н. Золотых были защищены диссертационные работы Е.А. Володина, Н.Ф. Фотеева, вызвавшие значительный интерес у производителей. Практически новое направление в ЭЭО разработано в диссертационной работе Б.И. Ставицкого, первая встреча которого с Борисом Романовичем состоялась, когда Борис Иванович был ещё студентом-дипломником в 1950 году. В этот период проблема специалистов в области ЭЭО материалов стояла очень остро, и для их подготовки в области электрических методов обработки материалов Б.Р. Лазаренко читал лекции для студентов Московского авиационного технологического института (МАТИ).

При выпуске первой группы студентов Б.Р. Лазаренко сказал: «...через год эти студенты станут первыми специалистами по электроискровой обработке. Думаю, что отряд наших единомышленников получит доброе пополнение. Вот почему сегодняшней день для меня истинный праздник» [49]. Он не ошибся — пройдут годы, и его дипломник Б.И. Ставицкий станет одним из признанных специалистов в области ЭЭО. При поддержке и в тесном научном контакте со своим учителем он, работая в НПП «Исток»,

впервые в мире разработает технологию и оборудование для прецизионной электроискровой обработки.

Именно с этого момента начнется триумфальное шествие по всему миру эрозионной обработки проволочным электродом, а её создатели (Б.И. Ставицкий, М.М. Фёдоров, Е.В. Холоднов) удостоятся Ленинской премии.

К середине 50-х годов вокруг Бориса Романовича Лазаренко сложился крепкий, профессионально зрелый научно-технический коллектив. Обрела чёткие организационные формы ЦНИЛ-Электром. Отдел физики возглавил Борис Никифорович Золотых, отдел технологии — Николай Константинович Фотеев; Иосиф Зиновьевич Могилевский стал руководителем отдела металлографии, Наталья Иоасафовна Лазаренко — заведующей отделом электроискрового легирования, а отдел новых процессов возглавил Борис Романович Лазаренко. Созданные при лаборатории конструкторское бюро и небольшое, экспериментальное производство как бы замкнули цепочку «идея-эксперимент-практика», обеспечив материализацию идей, которые рождались и вызревали в лаборатории.

После реорганизации АН СССР ЦНИЛ-Электром в 1965 году упразднили. Центр научных исследований в области новых направлений электрической обработки материалов частично был перенесён в Институт прикладной физики (ИПФ) АН Молдавской ССР, который был организован в 1964 году, и директором которого стал академик АН Молдавской ССР Б.Р. Лазаренко [51]. О роли и значении Б.Р. Лазаренко в становлении молдавской технологической науки подробно рассказывает один из его учеников, академик М.К. Болога в этой книге.

Система «идея-эксперимент-практика» себя оправдала при исследовании и внедрении ЭЭО в производство, поэтому, Борис Романович реализовал эту систему вторично, будучи директором Института прикладной физики АН МССР. При институте был создан опытный завод с КБ. Это было достаточно крупное хозяйственное подразделение.

Кроме того, к этой цепочке добавилось периодическое специализированное издание — журнал «Электронная обработка материалов», который практически объединил все научные силы

страны, работающие в области ЭЭО материалов и новых применений электричества.

Научно-исследовательскую работу в Центральной лаборатории и организацию внедрения ЭЭО в промышленности Борис Романович сочетал не только с педагогической деятельностью, но и с работой в Президиуме АН СССР, сначала в качестве учёного секретаря Президиума АН СССР, а затем исполняющего обязанности заместителя академика-секретаря отделения технических наук [49].

В лаборатории ЦНИЛ-Электрома получили развитие исследования воздействия низко- и высокочастотных колебаний непосредственно на процесс электроэрозионной обработки. Обобщение экспериментальных и теоретических исследований в этой области составило предмет кандидатской диссертации М.К. Мицкевича. Позднее научные основы технологии электроэрозионного формообразования деталей штампов явились основой докторской диссертации М.К. Мицкевича, а за комплекс выполненных работ он в составе коллектива сотрудников ФТИ АН БССР был удостоен Государственной премии [52].

С конца 1955 г. по февраль 1958 г. Б.Р. Лазаренко был командирован в Китай в качестве советника при президенте АН КНР. Он участвовал в разработке перспективного плана развития науки и техники в КНР, и, безусловно, наибольшее влияние Б.Р. Лазаренко оказал на становление и развитие ЭЭО в этой стране.

После его возвращения в СССР в ЦНИЛ-Электром на стажировку была командирована группа китайских специалистов. Китайские инженеры были второй волной зарубежных специалистов, которые проходили стажировку и научную подготовку в ЦНИИЛ-Электром. Ранее в лабораторию Бориса Романовича из-за рубежа в основном приезжали специалисты из социалистических стран Восточной Европы. Его первым зарубежным учеником был талантливый инженер из Чехословакии Индржих Станек. На родине он возглавлял отдел в Научно-исследовательском институте механизации и автоматизации (НИИМА-«VUMA») в словацком городе Новое Место под Вахом [53]. Он досрочно защитил диссертационную работу, руководителем которой был Б.Р. Лазаренко, и, уезжая, сказал: «Ваш метод найдёт широчайшее применение в Чехословакии. Смею Вас в этом заверить твёрдо».

Его активная деятельность способствовала тому, что Чехословакия одной из первых среди стран Восточной Европы начала проводить НИОКР в области ЭЭО для станкостроения. Уже к середине 50-х годов НИИМА разработал более 10 типов электроискровых станков различного назначения.

К началу 60-х годов возникло и получило развитие международное сотрудничество в области электрических методов обработки материалов – Международный Симпозиум по электрическим методам обработки (ISEM). В организацию и становление этого сотрудничества значительный вклад внесли Б.Р. Лазаренко (СССР), доктор-инженер И. Станек (Чехословакия), профессор, доктор Е. Матиас (Швейцария), доцент М.М. Шушка (Чехословакия) и представители других стран. Первый международный Симпозиум ISEM-1 был организован научно-техническим обществом ЧССР и состоялся в сентябре 1960 года в Праге. Можно условно считать 12 сентября 1960 года (открытие Первого Симпозиума) днём рождения ЭЭО в мировом масштабе.

Поучительной особенностью научного творчества Б.Р. Лазаренко является периодическая систематизация экспериментальных данных, которая оформлялась в виде определённых «обобщений». Начав с нескольких обобщений в одной из первых работ, в одной из последних они предложили уже 37 обобщений, относящихся не только к ЭЭО, но и к важнейшим вопросам, имеющим отношение к прохождению электрического тока через электролит, воздействию электрического тока на живые организмы. Обобщения, изложенные в [54, 55], – это как бы итог большой теоретической и экспериментальной работы Б.Р. и Н.И. Лазаренко в области открытого ими направления современной технологии машиностроения.

Различные аспекты физики и технологии электроэрозионной обработки материалов рассмотрены в монографиях и учебных пособиях, изданных учениками и последователями Б.Р. Лазаренко. Это известные монографии Б.Р. Золотых [56], Н.К. Фотеева [57], А.Д. Верхотурова [58], П.Н. Белкина [59], И.И. Софронова [60], М.К. Мицкевича [61], А.Е. Гитлевича [62], Б.П. Саушкина [63], В.И. Иванова [64]. Значительную работу по популяризации этой области технологии проводит Б.И. Савицкий. Современное состо-



растающей роли научной и инновационной деятельности в жизни общества.

Существенный вклад в организацию и становление института внесли ученые Молдовы. Это первый президент Академии наук академик Я.С. Гросул, вице-президент Академии наук, академик В.А. Андрунакиевич, академик А.В. Аблов, профессор М.В. Кот, вице-президент Академии наук, академик Г.В. Лазурьевский, главный ученый секретарь Президиума Академии наук, академик Ю.С. Ляликов, член-корреспондент Ю.Е. Перлин, член-корреспондент Г.В. Чалый.

В формировании тематики и в подготовке научных кадров большую помощь оказали видные ученые Академии наук и высших учебных заведений Советского Союза: академик, лауреат Нобелевской премии А.М. Прохоров; академик, Герой Социалистического Труда В.И. Попков; академик, Герой Социалистического Труда Н.Д. Девятков; академик, дважды Герой Социалистического Труда Н.Н. Боголюбов; академик Р.В. Хохлов; академик, Герой Социалистического Труда Н.В. Белов; лауреат Государственной премии СССР Н.И. Лазаренко; профессор Г.А. Остроумов. Благодаря их коллективной мудрости, опыту, дару предвидения и принятым решениям, институту была определена и утверждена тематика, перспективность которой со временем становится все более интересной в фундаментальном плане, значимой и привлекательной в практическом отношении.

Рассказать об эволюции становления, развития и деятельности ИПФ с богатой биографией, признанными фундаментальными и прикладными результатами, подготовкой многочисленных научных кадров высшей квалификации, известными научными школами, изданием международного журнала с высоким рейтингом, с практикуемым научным сотрудничеством в широких географических масштабах, многочисленными организованными конференциями даже в сравнительно объемной статье вовсе не просто.

Определенным стимулом в этом плане было намерение отразить события, характеризующие Институт, основываясь на собственном опыте, поскольку, когда читаешь и воспроизводишь информацию – это одно, и совсем другое, когда жизнь проходит в этой научной среде и атмосфере. Автор трудится в академиче-

ской системе с 1958 года, когда ему посчастливилось поступить в аспирантуру и влиться в семью ученых с мировым именем из Энергетического института им. Г.М. Кржижановского (г. Москва). Верность исследовательской работе, родному краю вернула меня в Академию наук Молдовы в год ее создания – 1961-й – с тем, чтобы остаться в Академии на всю жизнь, без каких-либо перерывов и отвлечений на работу по совместительству, без перехода на настоятельно предлагаемые должности, в том числе весьма почетные и заманчивые. В Институте прикладной физики я последовательно занимал все научные и руководящие должности.

Институтом пройден 56-летний путь около 30 из которых – в сплоченном коллективе научных лабораторий и Опытного завода, а затем и Специализированного конструкторско-технологического бюро твердотельной электроники с опытным производством. Информацию о становлении и развитии физических, электрофизических и электрохимических исследований, о создании кадрового научного потенциала, экспериментальной и опытной базы Института, работе научных конференций, консолидации разностороннего сотрудничества и других аспектах, присущих академическому учреждению читатель встретит на страницах журнала ИПФ «Электронная обработка материалов» («Surface Engineering and Applied Electrochemistry»), в трудах конференций по электрическим методам обработки материалов, по материаловедению и физике конденсированных сред, конференций физиков Молдовы, в трудах международных форумов, в которых традиционно участвуют сотрудники института, а также в специализированных журналах с высоким импакт-фактором. Это во многом упростило подготовку настоящих ретроспективных материалов.

С первых шагов деятельности института были выдвинуты стратегически цели и задачи по постановке и развитию работ с обеспечением замкнутого цикла – от фундаментальных к прикладным исследованиям и реализации результатов в виде передовых технологий и технических средств для их реализации.

В хронологической последовательности был создан Опытный завод, разработавший опытные образцы аппаратуры и обеспечивавший выпуск головных промышленных серий, основан научно-

технический журнал «Электронная обработка материалов», который начал пропагандировать научные и инженерные достижения по новым применениям электричества. Впоследствии организуется Специализированное конструкторско-технологическое бюро твердотельной электроники, занявшее передовые позиции в удачно обоснованных нишах электронной инженерии.

К концу 60-х годов – в период своего становления – ИПФ включал шесть лабораторий электрофизического (технического) профиля. Это лаборатории электроискровой обработки материалов (заведующий – академик Б.Р. Лазаренко); импульсной газовой электроники – (к.т.н. С.П. Фурсов); электрохимической обработки металлов (к.т.н. А.Н. Ягубец); электрических методов управления тепловыми процессами (к.т.н. М.К. Болога); электро моделирования биологических процессов (к.т.н. И.Б. Крепис); электрической флотации веществ (к.т.н. А.А. Мамаков). Восемь лабораторий и отделов формировали направление физического профиля. Это Отдел статистической физики (член-корр. В.А. Москаленко); отдел теории полупроводников и квантовой электроники (к.ф.-м.н. С.А. Москаленко); лаборатория физической кинетики (д.ф.-м.н. В.А. Коварский); полупроводниковых соединений (член-корр. С.И. Радауцан); физики полуметаллов (к.ф.-м.н. Д.В. Гицу); физических методов исследования твердого тела (член-корр. Т.И. Малиновский); механических свойств материалов (к.ф.-м.н. Ю.С. Боярская); низкотемпературной оптики (к.ф.-м.н. В.В. Соболев); группа фотоэлектричества (к.ф.-м.н. А.М. Андриеш). Названия ученых степеней и званий приведены в соответствии с периодом их присвоения.

Успешное развитие института способствовало постоянному отпочкованию лабораторий на базе уже существующих и организации новых с целью обеспечения более углубленных исследований и приобщения к рождающимся перспективным направлениям современной электрофизики и физики твердого тела.

**ПОДРАЗДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКОГО  
(ТЕХНИЧЕСКОГО) ПРОФИЛЯ**



**Лаборатория электроискровой  
обработки материалов**



**Лаборатория импульсной газовой  
электроники**



**Лаборатория электрохимической  
обработки металлов**



**Лаборатория электрических  
методов управления тепловыми  
процессами**



**Лаборатория электрического  
моделирования биологических  
процессов**



**Лаборатория электрической  
флотации веществ**

## ПОДРАЗДЕЛЕНИЯ ФИЗИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ



Отдел статистической физики



Отдел теории полупроводников



Лаборатория физической кинетики



Лаборатория полупроводниковых соединений



Лаборатория физики полуметаллов



Лаборатория физических методов исследования твердого тела



Лаборатория механических свойств материалов



Лаборатория низкотемпературной оптики

дел  
та  
лов  
СК  
По  
на  
и  
ни  
Пр  
кре  
спе  
срс  
чес  
  
ва  
це  
ИП  
тер  
зи  
тр  
тве  
ди  
  
тур  
ед  
об  
ме  
те  
ри  
7 л  
оп  
8 с  
тор  
со  
но  
  
тв

В связи с консолидацией опытно-производственных подразделений ИПФ и стремлением продвижения прикладных результатов и разработок практиковалось создание комплексных отделов на базе лабораторий, специалистов Опытного завода и СКТБТЭ, что оказалось весьма эффективным и оправданным. Под руководством и при участии сотрудников ряда лабораторий на опытно-производственных базах были созданы аппаратурные и технологические подразделения, что способствовало ускорению разработок и повышению качества выпускаемой продукции. Практиковались временные коллективы для выполнения конкретных экономических договоров. Как правило, это касалось специальных заказов, которые предусматривали минимальные сроки выполнения, строгие требования и параметры, высокое качество и культуру исполнения работ.

С целью более эффективного использования специализированных профильных структур в 1992 году были созданы научные центры при функционировании объединенного Ученого совета ИПФ с едиными планами и отчетностью. Три из них – Центр материаловедения, Центр теоретической физики, Центр электрофизических проблем входили в структуру ИПФ, а Центр оптоэлектроники и Международная лаборатория сверхпроводимости и твердотельной электроники впоследствии получили статус юридических лиц.

После образования центров также предпринимались структурные модификации путем организации секций и отделов, объединяющих по несколько лабораторий. Это делалось, главным образом, с целью более эффективного использования экспериментально-производственной базы, научного и технического потенциала. В 2006 году структура ИПФ включала 4 центра: материаловедения с 3 лабораториями; электрофизических проблем с 7 лабораториями, теоретической физики с 2 лабораториями и оптоэлектроники с 3 лабораториями. При институте действовали 8 специализированных советов по защите диссертаций, 7 из которых – докторские. На базе Международной лаборатории был создан Институт электронной инженерии и промышленных технологий.

Первоначально представлялось логичным кратко описать творческий путь организатора Института прикладной физики –

академика Бориса Романовича Лазаренко, касающийся открытия и продвижения электроискрового метода, который обеспечил в ИПФ ускоренное развитие исследований и разработок на их основе, а также широкое применение на практике, в том числе устойчивый выпуск Опытным заводом разнообразных установок для электроискрового легирования и размерной обработки.

Проникновенны и масштабны научное кредо и позиции авторов всемирно известного метода: «...если какое-либо физическое явление на основании какого-нибудь единичного признака окажется записанным в разряд «вредных» (например, так было с электрической эрозией металла), и десятки лабораторий начинают заниматься изысканием самых жестких мер для уничтожения действия этого явления, нужно, чтобы кто-то, хотя бы на время, отказался от многочисленных «обвинений», числящихся за этим явлением, и кропотливо рассмотрел все стороны его проявления».

«...Нет физических явлений «вредных». Есть явления недостаточно изученные».

«...Многовековое царствование механического способа обработки металлов, перевернувшего мир в прошлых столетиях, — кончается. Его место занимает, несомненно, более высокоорганизованный процесс, когда обработка металла производится электрическими силами. Не может быть причин, которые бы приостановили развитие и движение этого революционного процесса, ломающего существующие представления об обработке материалов. Ему будет принадлежать будущее, и притом — ближайшее будущее».

Восхищаясь изящностью электроэрозионного процесса, элегантностью и красотой технического воплощения электроискровых технологий, убеждаемся, что первооткрыватель метода предвосхитил его судьбу и будущее на годы и десятилетия. Со своей стороны ученики Б.Р. Лазаренко и продолжатели стремятся обосновать и разнообразить неограниченные технологические возможности электрической обработки материалов и могучие силы электрической искры. К великой гордости, метод, открытый талантливым ученым, одаренным изобретателем России, получил достойное развитие в Молдове, продолжает совершенствоваться во многих странах, а практические его приложения достигли

планетарных масштабов. С чувством исполненного долга отмечаем, что мы приняли эстафету, сумели сохранить преемственность и приумножить лучшие традиции Института прикладной физики, основателем которого был академик АН МССР, вице-президент академии, профессор, лауреат Государственных премий СССР и МССР, заслуженный деятель науки Молдовы – Борис Романович Лазаренко.

Электроэрозионный метод был открыт в суровое военное время – супругами Борисом и Натальей Лазаренко – и вскоре заслуженно получил широкую известность. Процесс электроэрозии обеспечивает уникальную технологическую гибкость, как по сложности формы поверхности, так и по разнообразию обрабатываемых материалов.

Другое важное направление – электроискровое легирование («обработка электрической искрой»), получившее растущее и ускоренное развитие в Институте прикладной физики.

Изобретение принципиально нового способа электроискровой обработки токопроводящих, полупроводниковых и любых других материалов (которые, хотя бы кратковременно находясь под влиянием каких-то внешних воздействий, приобретают возможность проводить электрический ток) относится к числу выдающихся технических открытий XX века. Оно основано на использовании высококонцентрированных электрических разрядов для съема с обрабатываемой заготовки или нанесения на нее материала. Приоритет открытия способа обработки подтверждается авторским свидетельством № 70010 от 03.04.1943 г., патентами других государств, многочисленными публикациями. За открытие и разработку способа супругам Лазаренко в 1946 году была присуждена Государственная премия СССР.



**Б.Р. и Н.И. Лазаренко  
у одного из первых  
электроэрозионных станков**



С появлением новых материалов и расширением возможностей компьютерных систем были созданы высокопроизводительные и особо точные электроискровые обрабатывающие комплексы, существенно расширилась область применения способа. Этим и объясняются непрерывное обновление и неисчерпаемость его возможностей. Метод стал красивым, эффективным и масштабным. Еще в середине 40-х годов Борис Романович утверждал, что одной из особенностей электроэрозионного способа является «исключительная легкость управления интенсивностью процесса обработки, позволяющая или обрушивать на место, подлежащее обработке, потоки мощнейших импульсов, грубо рвущих металл, в строго заданном направлении, или же заставлять искру проводить точнейшие прецизионные работы».

Совершая краткую ретроспективную экскурсию в прошлое, убеждаемся, что путь развития электроискрового метода богат яркими событиями и уникальными результатами. Осенью 1932 года Борис Лазаренко, успешно сдав экстерном экзамены за первый курс химического факультета МГУ, был зачислен на второй курс вуза. Практику проходил во Всесоюзном электротехническом институте и, будучи химиком, остался преданным физике на всю жизнь.

Дипломная работа стала основой для появления в будущем электроискрового способа – открытия, которое принесет Лазаренко всемирное признание и заслуженную славу. В 1936 году он успешно защищает дипломную работу «Исследование причин, вызывающих разрушение материалов контактов, и изыскание способа устранения таковых». Для расширения исследовательских работ создается группа по электроэрозионной обработке. Это произошло в канун войны. В октябре институт эвакуировался на Урал. Борис Романович продолжал исследование контактов, Наталья Иосаафовна – эксперименты по электроискровой эрозии. В одном счастливом эксперименте она продемонстрировала, как медный электрод врезался в толщу стального анода.

Из этого опыта родился метод, продолжающий прославлять многообещающий мир электричества. Это было сенсационное, знаменательное событие, настоящий прорыв, который произошел 3 апреля 1943 года в Свердловске. С приоритетом от 31 мая 1947 года изобретение внесено в Государственный реестр открытий

СССР. Тем самым супруги Лазаренко открыли двери в новый мир с ощущением взлета и прекрасного будущего. И это они во многом реализовали в Институте прикладной физики, на его опытно – производственной базе и пропагандировали через журнал ЭОМ.

Изучив закономерности, управляющие разрушением электрических контактов, установив возможность получения порошков с помощью электрических искровых разрядов и изготовив первые отверстия в металлах, изобретатели способа сделали прогноз, что нет, и не может быть токопроводящих материалов, которые не обрабатывались бы электрическими разрядами. Так они вступили на свой путь, путь славы и драматизма. Исключительная важность способа и приоритет в его открытии были подтверждены в этом же году Францией, Швейцарией, США, Англией, Швецией. Метод, открытый Борисом Романовичем и Натальей Иосаафовой, стал достоянием человечества, а в металлообработке наступила новая эра, принципиально отличная от прежней.

К весне 1943-го Борис Романович завершил работу над диссертацией «Инверсия электрической эрозии металлов и методы борьбы с разрушением контактов». Удалось показать, что электроискровая эрозия металлов, с которой на протяжении десятков лет во многих лабораториях мира велась упорная борьба, может приносить пользу. Диссертационную работу признали выдающейся.

В 1948 году в МГТУ им. Н.Э. Баумана Б. Лазаренко успешно защищает докторскую диссертацию «Электроэрозионный способ обработки металлов», что означало признание и высокую оценку метода. В конце 40-х – середине 50-х годов происходит развитие техники электроискровой обработки – организация научно-исследовательских лабораторий, начало подготовки специалистов, создание первых в мире промышленных типов электроискровых установок.

В 1948 году была создана Центральная научно-исследовательская лаборатория электрической обработки материалов (ЦНИЛ-Электром), которая входила в состав Научно-исследовательского института Министерства электропромышленности. Она стала базой для подготовки специалистов высшей квалификации. В этой лаборатории успешно исследовались фи-

зические основы электроискровой обработки, разрабатывались установки для различных процессов. К примеру: разрезание движущейся лентой, электродом-диском; шлифование, существенно отличающееся от абразивного. Из многочисленных процессов электроискровой технологии изготовление отверстий деталей топливной аппаратуры полностью вытеснило операцию механического сверления. Диапазон применения электроискровых установок стал распространяться не только на обработку деталей микронных размеров, но и крупных изделий, вес которых достигал нескольких тонн.

Впервые электроискровая обработка электродом-проволокой диаметром меньше 40 мкм начала применяться в начале 50-х годов для изготовления сеток в диафрагмах клистронов. Одновременно отработывалась технология изготовления замедляющих систем ламп обратной волны. Была продемонстрирована возможность применения способа для изготовления ажурных, особо точных, не жестких деталей, элементы которых не превышали нескольких микрон, а шероховатость – десятых долей микрона. Требованиям к межэлектродной среде в данном случае соответствовала обычная промышленная вода. С другой стороны, электроискровые технологии использовались для изготовления разнообразных сувениров, как реклама новых методов формообразования и возможность ознакомления специалистов с этими методами.

В 50-е годы разработкой электроискрового оборудования стали заниматься и за рубежом. На замечательные свойства, которыми обладает способ, обратили пристальное внимание исследователи и производственники зарубежных стран. В технической печати отмечалось, что появился новый способ, называемый электроискровым, о котором говорилось как о чем-то мистическом, вроде летающих тарелок. Считалось, что явление электроэрозии не может быть подведено под какое-либо классическое и общепринятое понятие обработки материалов.

Хотя электроискровой способ еще был очень молод, он оправдал интерес промышленников. Зарубежные фирмы разрабатывали и выпускали установки различного назначения уже в первое десятилетие после открытия способа. В этой области работали специалисты самого различного профиля, создавались специ-

альные фирмы и институты, электроискровая обработка начала формироваться в самостоятельную новейшую область электрофизики.

Тем временем, в октябре 1955 года ЦНИИЛ-Электром получила статус самостоятельного научно-исследовательского учреждения с непосредственным подчинением Президиуму Академии наук. Борис Романович по совместительству работал ученым секретарем Президиума АН СССР, и эти годы оставили глубокий след в его жизни. Большая школа научила многому. А главное – мыслить широко, уметь сосредоточиться на главном.

Вскоре сложился профессионально зрелый научно-технический коллектив. Обрели четкие организационные формы Центральная лаборатория и ее структура. Созданные при лаборатории конструкторское бюро и экспериментальное производство как бы замкнули цепочку «идея – эксперимент – практика». Подводя итоги десятилетия со дня открытия метода, Борис Романович писал: «Сегодня это уже очевидный факт: изобретенный в Советском Союзе электроискровой способ позволяет обрабатывать металлы и сплавы с любыми физическими и химическими свойствами, не применяя каких-либо режущих инструментов. Более того, с его помощью выполняется целый ряд технологических процессов, не осуществимых никакими другими способами».

Учитывая юбилейный характер воспоминаний, я не счел нужным коснуться многих сложных драматических ситуаций, которые повлияли на судьбу электроэрозионной обработки. Однако, замечу, что при благоприятном развитии событий, решении научных проблем и организационных мероприятий в академическом стиле, в отсутствие грубого администрирования, были бы достигнуты большие высоты, достойные этого метода – жемчужины электротехнологий.

Борис Романович перевернул эти страницы жизни профессионально, с оптимизмом. В начале 1961 года состоялась его беседа с председателем Президиума Молдавского филиала АН ССР Я.С. Гросулом и вице-президентом АН СССР А.В. Топчиевым. Они предложили Борису Романовичу возглавить институт в создаваемой Академии наук Молдавии. Это был трудный выбор, но Б. Лазаренко сделал его во имя новых горизонтов, согласился в

надежде на максимальную реализацию своих идей и, к счастью, не ошибся.

Для него начался новый и очень яркий этап жизни. Много лет спустя он писал об этом времени: «Здесь, в Молдавии, меня больше всего привлекает научная молодежь. Люди, поистине жаждущие знаний, преданные своему делу, с поразительным упорством преодолевающие крутые ступени науки, — они действительно заслуживали того, чтобы отдать им без остатка все свои знания, весь свой опыт, все, что честный ученый обязан оставить людям». В новую среду вошел органично и легко, ведь приехал сложившимся ученым, авторитет его был достаточно высок. Человек твердых принципов и убеждений, волевой по своей натуре, в то же время подкупал своим демократизмом и добротой [49].

В Кишиневе формировалась научная школа Лазаренко, требующая увлеченности и полной самоотдачи. Электроэрозионный метод обработки послужил основой развития новых электрофизических и электрохимических технологий. Расширялись и углублялись исследования электрических разрядов в газах и вакууме для придания поверхностям необходимых физико-химических свойств, использовались компактные электроды, порошковые материалы и их композиции; развивались исследования гальванических процессов, электрохимической обработки, флотации, тепло- и массопереноса, электроплазмолиза продуктов растениеводства. Круг научных интересов, связанных с изысканием новых областей применения электричества, неизменно расширялся.

Институт стал всесоюзным координатором по тематике электрической обработки материалов и электрогидродинамическим процессам. В консолидации научно-технической общественности особую роль сыграл и продолжает играть журнал «Электронная обработка материалов» [65].

Обобщая и дополняя полученные результаты, Борис Иванович Ставицкий, ученик академика Бориса Романовича Лазаренко, подготовил неповторимую книгу «Из истории электроискровой обработки материалов» [12] с богатым подбором иллюстраций. Ее задача, с одной стороны — напомнить о первенстве и достижениях советских специалистов в области электроискровой обработки, с другой — стать первой в ряду своеобразных памятников советской

науки и техники, для того чтобы будущие поколения знали, что многие предметы, окружающие их, появились и благодаря таланту специалистов страны Советов, для которых нередко творческие разработки и инженерные изыскания были делом всей жизни.

### **ОСНОВНЫЕ НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ПОДРАЗДЕЛЕНИЯ ИПФ АН МССР**



**Институт прикладной физики  
(академический корпус)**



**Опытно-экспериментальный завод  
ИПФ**



**СКТБ твердотельной электроники**

Приятно подчеркнуть, что к 100-летию со дня рождения академика Бориса Романовича Лазаренко Ю.С. Елисеевым, уроженцем села Глинное Слободзейского района Республики Молдова, и Б.П. Саушкиным (состоялся как исследователь в нашем институте) была подготовлена весьма полезная книга «Электроэрозионная обработка изделий авиационно-космической техники»[63].

Под руководством академика РАСХН (ныне РАН) В.И. Черноиванова был подготовлен «Альбом инновационных технологий ремонта агрегатов с восстановлением и упрочнением деталей прогрессивными методами». Приятно

напомнить, что один из авторов – В.И. Иванов начал трудовую жизнь в области электроискровой обработки в Институте прикладной физики.

Основной принцип работы института состоял в сочетании фундаментальных и прикладных исследо-

ваний с решением научно-технических проблем, доведении результатов до практической реализации на опытно-производственной базе и пропаганде достижений журналом «Электронная обработка материалов». Опытный завод на основе результатов исследований института и других учреждений академии разрабатывал и изготавливал установки и приборы для научных исследований, обеспечивал выпуск головных образцов и опытно-промышленных партий наиболее эффективных образцов новой техники, активно содействовал их внедрению. Продукция завода пользовалась большим спросом и эффективно применялась в различных отраслях промышленного и сельскохозяйственного производства. В 70–80-е годы завод был основным производителем установок для электроискровой обработки металлов, разработанных в ИПФ и экспортируемых в республики Союза и во многие страны мира.

В СКТБ твердотельной электроники с опытным производством работы выполнялись на основе результатов исследований, проводимых Институтом прикладной физики и другими научными учреждениями Академии наук по трем основным направлениям: разработка материалов для твердотельной электроники и технологий их получения; разработка первичных измерительных преобразователей и приборов на их основе для промышленности, биологии, медицины и сельского хозяйства; разработка уникального оборудования для научных исследований. Разнообразие разработок СКТБ до начала 90-х годов впечатляет, причем значительная часть выполненных работ относилась к специальной технике, что свидетельствовало об их новизне и перспективности.

Большое значение в развитии института имело участие видных ученых Советского Союза в обсуждении результатов, определении перспектив исследований и оптимальных путей их реализации, а также творческое сотрудничество с научными учреждениями, производственными предприятиями и высшими учебными заведениями, которое неизменно расширялось. Выездная сессия Отделения общей физики и астрономии АН СССР (1973 г.) подвела итоги исследований, наметила наиболее перспективные направления их развития. При этом президент АНМ академик Я.С. Гросул, вице-президент АН СССР В.А. Котельников, акаде-

мики-секретари отделения АН СССР В.И. Попков, А.М. Прохоров, директора профильных институтов, учителя – академик В.Л. Гинзбург и ученики проявляли максимальную заботу и доброжелательность в реализации текущих исследований, принимаемых решений и намечаемых перспектив.

Важным фактором в развитии исследований, укреплении сотрудничества, научных связей являлись и остаются конференции, симпозиумы, совещания, созываемые ИПФ, а также научные форумы (в которых институт принимал участие как организатор), в том числе с приглашенными и пленарными докладами, которые способствовали обмену опытом, кооперированию работ, продвижению результатов в практику.

Традиционным стало проведение в Кишиневе всесоюзных совещаний по электрической обработке материалов, электроискровым и электрохимическим методам обработки металлов, конференций по полупроводникам, всесоюзных школ по аппаратуре и методам исследования атомной структуры кристаллов, конференций по низкотемпературным термоэлектрическим материалам, нелинейной оптике с участием известных ученых. Только за три года институт организовал и провел: Всесоюзное совещание по электрической обработке материалов (июль, 1967 г.),



**Академики АН СССР  
В.А. Котельников, В.И. Попков,  
А.М. Прохоров в гостях  
у молдавских ученых**



**Академик В.Л. Гинзбург  
и молдавские физики.  
Выездная сессия Отделения общей  
физики и астрономии АН СССР.  
1973 г.**



Всесоюзный симпозиум по термоэлектрическим материалам (сентябрь, 1968 г.); Осеннюю школу по аппаратуре и методам исследования атомной структуры веществ (сентябрь, 1968 г.); Всесоюзный симпозиум по теоретическим основам электрической обработки материалов (октябрь, 1968 г.); Всесоюзный коллоквиум по электрическим свойствам растений (май, 1969 г.); Второе всесоюзное совещание по электрической обработке материалов (октябрь, 1969 г.).



**Б.Р. Лазаренко открывает Всесоюзное совещание по электрической обработке материалов. Кишинев. 1967 г.**



**М.К. Болога вступает на 5-м совещании по электрической обработке материалов. Кишинев. 1980 г.**



**Вице-президент АН МССР академик С.И. Радауцан выступает на церемонии открытия мемориальной доски Б.Р. Лазаренко, установленной у входа в ИПФ АН МССР**

Пятое совещание по электрической обработке материалов, запланированное на 1980 год, было приурочено к 70-летию Б.Р. Лазаренко, но к глубокому сожалению, Бориса Романовича не стало 26 августа 1979 года.

Быть может, чтобы институт не оставался в подвешенном состоянии, буквально после похорон президент АН МССР, академик А.А. Жученко созвал заседание Ученого совета и возложил на автора этих строк исполнение обязанностей директора института.

Шли годы – интересно, эффективно, интенсивно развивались фундаментальные и прикладные исследования с различными аспектами социального значения по традициям, инициированным Борисом Романовичем. Запланированное совещание по электрической обработке материалов состоялось осенью 1980 г. Кульминационными моментами стали возложение цветов к могиле ученого и открытие мемориальной доски. С открытием мемориальной доски наш директор ежедневно встречает и провожает всех, кто его знал, а для учеников и коллег Борис Романович вовсе не умер, его просто нет среди нас.

Восьмидесятые годы характеризуются стремительным развитием ИПФ, углублением исследований, существенным улучше-

нием экспериментальной и опытно-производственной базы, ростом масштабов реализации результатов, расширением сфер сотрудничества. Это происходило одновременно с дальнейшим формированием и консолидацией качественного научного потенциала и подготовкой научных кадров, которым постоянно оказывалось большое внимание. Научные кадры готовила аспирантура (докторантура), которая функционировала в составе института, и мы накопили богатый опыт по их подготовке. Кадры готовились не только для высших учебных заведений, отраслевых институтов и других организаций республики, но и для зарубежных стран. Более того, к концу 80-х годов была организована подготовка кадров через постдокторантуру, что свидетельствовало о престиже и уровне исследований ИПФ.

К началу 80-х годов – в период консолидации научного потенциала, рождения новых и развития определенных научных традиций – в институте работали 17 докторов наук и свыше 100 кандидатов наук, 6 действительных членов и 2 члена-корреспондента АН МССР, более 400 специалистов, около 80 аспирантов. Сотрудниками и аспирантами были защищены и представлены к защите 10 докторских и около 80 кандидатских диссертаций. На Опытном заводе работали более 350 человек, в СКТБ – более 380. Выполняя внушительный объем хозяйственных работ, институт практиковал создание тематических групп и секторов.

Это был коллектив, объединяющий более тысячи человек и поддерживающий тесные связи со многими научными учреждениями, высшими учебными заведениями, конструкторскими и производственными предприятиями, благодаря чему возможности ИПФ существенно усиливались и расширялись. В институте действовали специализированные советы по защите кандидатских и докторских диссертаций, получил известность всесоюзный научно-технический журнал «Электронная обработка материалов», в редколлегию и авторский коллектив которого входили известные ученые, работающие в различных областях новых применений электричества.

Новизна результатов разработанных технологий, технических средств к этому времени была подтверждена более 500 авторскими свидетельствами. Кадровый состав института прошел

подготовку в известных научных школах, и дух высокой требовательности, академичности, коллегиальности, взаимопомощи стал чертой характера сотрудников ИПФ и линией поведения в жизни. Установившиеся научные связи мы сохранили и развиваем, а чувства уважения и признательности к своим наставникам пронесем через всю жизнь.

В год 110-летия особо осознаешь неумолимый бег времени, и создается впечатление, что ему придали ускорение. Свежи в памяти первые шаги по обоснованию тематики исследований, формированию лабораторий, созданию первых экспериментальных установок, по участию в строительстве корпусов институтов и опытно-производственных баз, по налаживанию и поддержанию научных связей и сотрудничества, которые играли и играют важную роль в академической деятельности.

Вспоминая историю становления и развития ИПФ, провожу параллель с историей развития космонавтики. В год начала космической эры – в 1961-м – была создана Академия наук Молдовы. Совпадение по времени и определенное наше участие в космической тематике позволяют констатировать, что это было торжество большой науки, чудо инженерной мысли. Мы счастливы, что, развивая исследования в Академии наук, были причастны к космическому приборостроению, сумели реализовать технологии и аппаратуру, достойные таких высот и полетов.

В пору актуализации тематики исследований, структурных и организационных реформ на базе научных подразделений ИПФ был организован (2006 г.) Институт электроники и промышленных технологий, что явилось заметной вехой на фоне, как правило, принимаемых и планируемых слияний и укрупнений. С учетом успешного, стремительного развития исследований и разработок в области нанотехнологий, доминирующей роли в консолидации научного и инженерно-технического потенциала, перспективности этого многообещающего направления на стыке столетий, институт был преобразован и все более уверенно занимает передовые позиции в мире науки. С удовлетворением подчеркиваю, что сегодня это Институт электронной техники и нанотехнологий им. Д.В. Гицу. Тем самым увековечены имя и дела нашего коллеги.

Знаменательной остается конференция по полупроводникам с участием будущего лауреата Нобелевской премии академика Ж.И. Алферова. Приятно отметить, что лауреаты Нобелевской премии в области физики А.М. Прохоров и В.Л. Гинзбург, также побывали у нас в институте, сотрудничали с нами и высоко ценили деятельность ИПФ.

Памятны приезды к нам делегаций космонавтов и представителей Академии наук Союза, возглавляемых вице-президентом, академиком В.А. Котельниковым, обсуждения широких возможностей и перспектив сотрудничества, подписание важных соглашений, которые ориентировали нас на интересные исследования, технические решения и разработки.

Согласно критериям оценки деятельности в восьмидесятые годы в хорошо координируемой союзной академической системе, к нашей чести, Институт прикладной физики был признан победителем в 1980 и 1981 годах и награжден Президиумом Академии наук Союза и Центральным комитетом профсоюзов СССР.

В год пятидесятилетия академической науки (1996 г.) ИПФ располагал значительным потенциалом, в его составе работали 29 лабораторий, штаты института включали 343 сотрудника, среди которых 203 научных работника, 8 действительных членов и 2 член-корреспондента Академии наук, 32 доктора хабилитат, 143 доктора и 50 докторантов. Мы гордились таким институтом [66].

В последнем десятилетии минувшего столетия возможности созыва и проведения институтом научных конференций были исчерпаны, но сотрудники всех подразделений на основе установившихся научных связей продолжали активно участвовать в научных форумах и представлять доклады практически на всех континентах преимущественно с целью публикации результатов и обмена информацией через издание трудов. Все проблематичнее становилось финансирование академической науки и тем более прикладных разработок.

После десятилетнего перерыва в 2001 году была созвана Международная конференция «Materiale science and condensed matter physics» (MSCMP), посвященная 75-летию со дня рождения академика С.И. Радауцана, которая получила широкий резонанс. Таким образом, традиция проведения этих конференций

была продолжена с более широким охватом различных областей физики твердого тела.

Вторая конференция MSCMP была посвящена 40-летию ИПФ, который стал известным научным центром и привлекал внимание исследователей растущего количества стран. Конференция состоялась в сентябре 2004-го, охватила области теории, получения, обработки и идентификации новых материалов и технологий с целью применения в электронике и оптоэлектронике. Традиционными стали конференции физиков Молдовы, которые объединяют широкий круг представителей академических институтов, университетов республики и иностранных коллег; проходят с обсуждением актуальных вопросов физики, с налаживанием научных контактов и сотрудничества, связей с представителями науки, культуры, образования и различных областей национальной экономики.

В 2010 году V конференция MSCMP прошла совместно с симпозиумом по электрическим методам обработки материалов и была посвящена 100-летию со дня рождения организатора ИПФ — академика Бориса Романовича Лазаренко. Приятно подчеркнуть, что в юбилейном году все номера журнала ЭОМ содержали памятные материалы.

В связи с всевозрастающими требованиями к качеству публикаций и их градацией по различным категориям международных журналов, уместно подчеркнуть, что ИПФ занимает достойное место по уровню и численности публикаций. Во многом это отражение и успешного международного сотрудничества, которое формировалось на протяжении не одного десятилетия. Наши сотрудники, находясь в престижных научных центрах мира, с честью представляют Институт. Бесспорно, эффективное развитие института невозможно без этой сферы деятельности, обусловленной несколькими факторами: она способствует обмену знаниями и опытом, расширяет и повышает научный потенциал, актуализирует круг проблем, содействуя более многостороннему развитию и повышению конкурентоспособности ИПФ.

Для более ясного представления о международном сотрудничестве уместно остановиться на кооперировании ИПФ с Объединенным институтом ядерных исследований (ОИЯИ. г. Дубна, Россия), которое занимает особое место. Начало и развитие в

Молдове исследований в областях, связанных с изучением фундаментальных свойств веществ, находящихся в авангарде современной физики и определяющих социальный прогресс, во многом связаны с ОИЯИ, который более полувека оказывает научную помощь в подготовке специалистов высокой квалификации и организации исследований в областях теории сверхпроводимости, физики конденсированных сред, статистической механики, теории атомного ядра и элементарных частиц. Первым Полномочным Представителем РМ в ОИЯИ был академик В.А. Москаленко. Парламент РМ ратифицировал участие Молдовы в ОИЯИ в декабре 2003 года. С 2008 года Полномочным Представителем РМ в ОИЯИ является президент АН Молдовы, академик Ион Тигиняну.

Кадровый состав Института прикладной физики – это известные и подающие надежды специалисты, верные своему делу, долгу и профессии, которые трудились и продолжают эффективно работать в различных областях физических и технических наук. Многие из них – подающие добрые надежды на дальнейший рост, повышение квалификации, достижение высших научных степеней и званий. Это завтрашний день и перспектива института, живая связь и преемственность поколений. К счастью, кадровый состав, его остов, в подавляющем большинстве сохранился. На разных этапах пройденного пути многие коллеги защитили диссертации и по разным причинам продолжили трудовой путь и проявили себя за пределами института и даже Молдовы – они работают практически на всех континентах и хранят добрые воспоминания о некогда родном Институте.

На протяжении 56 лет ИПФ, будучи единственной научной организацией в области физики, привнес существенный вклад в развитие науки в Молдове и стал известен в мире благодаря утвержденным научным направлениям, которые согласно требованиям времени конкретизировались и формулировались в виде профилей аккредитации. Институт известен международному научному сообществу не только своими фундаментальными и прикладными исследованиями, но и признанными научными школами: в области кристаллографии (акад. Т.И. Малиновский), физики полупроводниковых материалов (акад. С.И. Радауцан); физической кинетики (акад. В.А. Коварский); физики некристал-

лических материалов (акад. А.М. Андриеш); физики явлений переноса в анизотропных материалах (акад. Д.В. Гицу); физики прочности и пластичности (проф. С. Боярская); электроэрозионной обработки материалов (акад. Б.Р. Лазаренко); технической электрохимии (акад. Ю.Н. Петров). Лучшей памятью наших коллег является сохранение и продвижение созданных ими научных школ.

Назовем также научные школы академиков В.А. и С.А. Москаленко в области физики твердого тела и ядерной физики; академика А.В. Симашкевича в области полупроводников и гетероструктур на их основе; академика Э.К. Арушанова (полупроводниковые материалы и многокомпонентные материалы); академика В.Г. Канцера (физика электронных явлений в конденсированных средах); академика М.К. Бологи (интенсификация процессов тепло - и массопереноса); чл.-корр. А.И. Дикусара (электрохимическая размерная обработка материалов), которые отличаются внушительным количеством воспитанников и учеников, широко признаны и высоко оценены научной общественностью.

Успешно развиваются научные школы членов академии, которыми пополнились наши ряды на последних выборах: академика И.М. Тигиняну в области нелитографических нанотехнологий; академика Л.Л. Кулюка – лазерной спектроскопии и нелинейной оптики полупроводников; академика А.С. Сидоренко – сверхпроводимости слоистых и размерно-ограниченных систем.

К великому сожалению, за минувшие годы академическая наука и Институт прикладной физики понесли невосполнимые потери и утраты – проводили в последний путь многих коллег, среди которых лидеры электротехнологии Б.Р. Лазаренко (11.11.1910–26.08.1979); Ю.Н. Петров (24.06.1921–03.07.1990). Детальную информацию читатель встретит в юбилейном издании *Academica* [67], которое было удачно задумано и реализовано. Они наши коллеги, оставившие яркий след в представляемых областях знаний, на протяжении многих лет вели исследования на передовых рубежах физических, технических, химических наук, и не будет преувеличением сказать, что некоторые из них стали легендами академической и вузовской науки, символами своего времени.



В эмоциональной атмосфере конференции, посвященной 110-летию со дня рождения основателя института – академика Б.Р. Лазаренко будет говориться об успехах, о прошлом и настоящем, традициях и перспективах. Это особые чувства для нас, стоявших у истоков академических исследований, и станет примером для наших последователей в науке. И важно, чтобы они не только учились на успехах, но и исправили то, что посчитают нашими упущениями, а возможно, и ошибками. Учиться на накопленном опыте, всегда было и остается величайшей мудростью вообще, а в науке особенно.

Престиж научной деятельности был характерен для всех времен, творческая мысль всегда объединяла прошлое, настоящее и будущее. Наши мечты и ожидания, профессиональные заботы и достижения рождают перспективные жизненные артерии, воплощение и освоение которых продиктовано безусловной необходимостью настоящего и будущего. Научная деятельность становится все более значимой и привлекательной, ставит более ответственные задачи и более высокие цели. Искренне надеюсь, что коллектив ИПФ, благодаря своему напряженному творческому труду, будет достоин этих высоких идеалов. Институт трижды аккредитован (2006, 2011, 2017 г.г.) с высшей оценкой деятельности. Фундаментальные и прикладные исследования продолжают в профильных научных направлениях: физика конденсированной среды, атомов и молекул, фотоника, материаловедение, электротехнологии.

Примечательно активное участие наших сотрудников в многочисленных конференциях практически на всех континентах с целью публикации результатов, обмена информацией, расширения сотрудничества. В институте успешно работали специализированные советы по защите диссертаций, существенно выросло число молодых специалистов, стабильно количество докторантов и защищенных диссертационных работ. Нельзя не отметить и наличие определенных трудностей, которые не способствуют повышению эффективности проводимых научных и инновационных работ; их преодоление остается приоритетным и внеочередным в нашей последующей деятельности.

Важным в деятельности института является издание единственного по профилю научно-технического журнала «Электрон-

ная обработка материалов», основанного в 1965 году по инициативе Б.Р. Лазаренко.

Под названием «Surface Engineering and Applied Electrochemistry» продолжается издание лицензионного журнала, а компания Springer распространяет его в бумажном и электронном виде. Журнал воспринимается как жемчужина ИПФ, Академии наук и более широкой научно-издательской системы.

Развитию исследований способствовало установление и расширение научных контактов. Приглашения наших сотрудников и их пребывание в именитых научных центрах свидетельствуют о высоком научном авторитете ИПФ. Наши ученые участвуют в редколлегиях, являются рецензентами престижных научных журналов, экспертами разных программ. Растет число публикаций за рубежом, соавторами которых являются сотрудники института, и число совместных работ, постоянно укрепляются зарубежные научные связи.

На протяжении 56 лет ИПФ, будучи единственной научной организацией в области физики, внес существенный вклад в развитие науки в Молдове и стал научным центром не только национального значения. Этому способствовали тематика, предусмотренная статусом Института, которая согласно требованиям времени конкретизировалась и формулировалась в виде профилей аккредитации, благоприятная творческая атмосфера, созданная и поддержанная Борисом Романовичем, наш энтузиазм и самоотверженный труд.

К сожалению, ИПФ порядком обеднел, многие достойные ученые разъехались по всему свету. Но не оставляет надежда, что доживем до счастливого дня, когда уехавшие (или часть из них) вернутся в родные края. Мечтаю и надеюсь, что работать в Молдове, в Академии наук, в ИПФ будет комфортно и престижно. Полагаю, что это не только моя мечта. Наука приближает многие ожидания. Электрофизика – судьба многих классиков, исследователей, это мир чудес, огромное поле деятельности, поиска и находок. Перед нами новые задачи, быть может, не всегда мы шли оптимальными научными тропами, не прошли оптимально через различные испытания.

Предстоящий путь следует пройти максимально эффективно. На этом пути постоянно будет сопровождать доброта Бориса Ро-

мановича, она спутница светлого человека, который душой всегда остается с нами.

Сегодня инновации перетягивают на себя всю важность научной деятельности. В дальнейшем испытание временем будет сложнее, но и интереснее. Предстоят нестандартные решения, но есть к чему стремиться и куда идти в это беспокойное время. Остается надеяться, что лучшее нас ждет впереди, что основные высоты также ждут своего покорения. Необходима уверенность в собственных силах, ведь каждый успех вдохновляет. А постоянное стремление совершенствоваться – это прекрасное качество. Нелегко соответствовать возрастающим требованиям, и есть одна возможность – их следует выполнить.

ИПФ – институт, трудиться в котором многие стремились, и работать в котором многие будут мечтать. Но нельзя забывать, что только в единстве прошлого и настоящего создается будущее. Приятные или тревожные воспоминания объединяются в нашем прошлом и особенно важно помнить тех, кто ушел в бессмертие. Сегодня, как и всегда, мы преклоняемся перед теми, кто сделал для ИПФ все, что мог.

Порой мысленно мы возвращаемся к различным пройденным этапам, видать, так устроены наша память и человеческие отношения. Многие из нас, ветеранов, будучи молодыми, были также воодушевлены красивыми идеями и делами, были счастливыми, ведь впереди были еще не пройденные годы. Незабываемые события останутся навсегда в памяти, как и благодарность нашим современникам и предкам.

Впереди нас ожидает гигантская работа, важно не терять при этом уверенности в своих силах, верить в себя и свою мечту. Надеюсь, для нас очевидно – избранными или великими не рождаются, ими становятся. Судьба дала нам шанс попасть в мир исследователей, мир, в котором нужно постоянно трудиться, больше отдавать и находить, чем брать.

Конечно, коллег можно выбирать, но время оставляет лучших. Какие сюрпризы принесет будущее, нелегко предугадать, но верится, что электротехнологии станут визитной карточкой не только ИПФ, а электроэрозийные – легендами. Открытие ЭИЛ технологии супругами Б.Р. и Н.Н. Лазаренко, ряда явлений и закономерностей было сделано талантливо, это подвиг, у которого

нет шанса на забвение и ослабление исследований. Мы помним и чтим результаты, над которыми не властно время, и наш долг подняться к новым высотам. А коллеги, которые прошли и пройдут школу ИПФ, никогда ее не забудут. В Институте всегда подчеркивается важность понимания сути фундаментальных исследований и значение их прикладных аспектов, а в целом – значимость физико-технических поисков и эффектов.

Большая честь и ответственность быть сотрудником ИПФ и тем более руководителем. Будучи директором, я консолидировал в институте лаборатории, отделы, коллективы, отличавшиеся высоким профессионализмом, энтузиастов исследований и разработок в профильных областях знаний, что позволило охватить широкую и важную тематику, развивать солидные экспериментальные и опытно-производственные базы, которые обеспечивали освоение и практическую реализацию прикладного потенциала. ИПФ стал известным во многих странах благодаря распространению журнала и экспорту технологических и технических инноваций, в том числе на основе лицензий.

Дорогие коллеги, читатели! Борис Романович создал Институт прикладной физики – это наша юность, наш полет, желание творить. Мы волновались, чувствовали ответственность, росли вместе с ним, создавали традиции, соблюдая и развивая их. Пройден путь от начального Института энергетике и автоматике до современного, известного в широких кругах научно-технической общественности Института не только национально-го масштаба, в котором его основателя помнят сегодня и будут помнить всегда. Такие личности не умирают, а просто удаляются от нас – коллег и близких. Чтобы лучше понять настоящее и шагнуть в завтрашний день, каждый раз нужно возвращаться к истокам, помнить и дорожить традициями.

### ***2.2.3. Б.Р. Лазаренко – основатель журнала «Электронная обработка материалов»***

Вскоре после организации ИПФ АН МССР, биография которого началась 09.03.1964 г., было принято (2 апреля 1964 г.) решение о создании журнала «Электронная обработка материалов» (ЭОМ), которому предстояло стать первым и единственным из-

данием, пропагандирующим научные и инновационные знания по новым применениям электричества (рис. 2.1). Впоследствии соответствующая тематика появилась и в других известных периодических изданиях.



Академик  
Борис Лазаренко



Академик  
Яким Гросул

*Рис. 2.1. Рождение журнала*

Научный журнал ЭОМ, издаваемый ИПФ с 1965 г., публикует оригинальные и обзорные работы и статьи о текущих, теоретических и прикладных вопросах и задачах в области электрофизических и электрохимических методов обработки материалов; физико-химических методов, синтеза макро-, микро- и наноматериалов, изучения их свойств; использования электрических и магнитных полей для обоснования и создания новых и совершенствования существующих технологий.

В нем печатаются материалы об электрических процессах в технике и химии; электрических методах обработки биологических и пищевых объектов; электромагнитных полях в биосистемах.

Журнал (<http://eom.phys.asm.md/>) практически постоянно переиздавался в английском варианте: первоначально в Англии – «Applied Electrical Phenomena», а впоследствии в Соединенных Штатах под названием «Surface Engineering and Applied Electrochemistry» (SEAE) компанией Pleiades Publishing при участии Международной академической издательской компании IncNauka/Interperiodica и распространяется известной компанией

Springer. Англоязычная версия журнала доступна по адресу: <http://www.springerlink.com>. Журнал включен в международные библиографические базы данных и проиндексирован в базе данных Scopus. С 2017 г. SEAE включен в базу данных индекса цитирования нового источника (ESCI). Ежегодно выпускается по шесть номеров ЭОМ и SEAE.

В год 110-летия со дня рождения основателя ИПФ и ЭОМ академика Б.Р. Лазаренко, очень важно вспомнить и отдать дань памяти тем коллегам, которые вложили весомый вклад в обеспечение успехов ЭОМ и, которых, к глубокому сожалению, уже нет среди нас. Надеюсь и в будущем, коллеги не раз будут возвращаться к истокам создания журнала. Написание данной статьи инициировано также тем, что ее автор был одним из основателей журнала, участвовал в подготовительной работе по его созданию, работал заместителем главного редактора и главным редактором после ухода в мир иной академика Бориса Лазаренко.

В памятные дни острее воспринимаешь и больше задумываешься о прошедшем. Мы превратили работу в призвание, которое для одних – мечта, а для нас – достижения и реальность. На пройденном пути накопили богатый опыт, ноу нас никогда не исчезало желание соответствовать требованиям времени.

Времена не выбирают, в них рождаются и умирают. К сожалению, в 1979 году в расцвете лет ушел из жизни академик Борис Лазаренко. Его звезда освещает путь ИПФ, ЭОМ и их служителям. Магия электричества, с которой постоянно встречаются читатели журнала на его страницах, как и все, что является научным и инновационным, нас никогда не покидает. Надеемся на успехи, благодаря которым мы становимся более опытными и мудрыми, растем профессионально и духовно.

Для редакционной коллегии, редакционного коллектива и авторов 55-я годовщина журнала и 110-летие его основателя – события особой значимости. Благодаря журналу мы стали и являемся послами науки. Кроме того, журнал обеспечил и обеспечивает нашу значимость и видимость в мировом масштабе.

Журнал был основан под руководством академика Бориса Лазаренко, первого директора ИПФ, при поддержке первого президента Академии наук академика Якима Гросула (рис. 2.1). Мотивирование необходимости и важности журнала не было про-

стым и поспешным. Не менее хлопотным было комплектование первых изданий в основном работами, написанными и рецензированными практически только членами редколлегии. Это был напряженный период с поиском и приглашением авторов, выбором рецензентов, бесчисленными обсуждениями и анализами перспектив, которые, безусловно, оправдались [51].

Что касается развития деятельности журнала и его распространения, то увеличению количества авторов и читателей в значительной степени способствовала работа научных конференций. В первую очередь, это значительно влияло на расширение и углубление научных исследований, по отдельным направлениям которых институт стал координатором во всех республиках того времени. А возможность представлять 55 лет редакционной деятельности в год 110-летия основателя ЭОМ – это большая ответственность и честь, так как все рождается и развивается благодаря желанию работать, самоотверженности, большой самоотдаче, убежденности в необходимости и важности научных исследований, значимости редакционной и издательской деятельности. Значимость разработки новых технологий и будущее некоторых из них сложно себе представить. Исследования не имеют возраста, они проходят разные стадии развития и жизни. Не важно, где сделано (желательно у нас), кто сделал, а главное – что сделано. А после достигнутого результата видно и кто сделал.

К юбилею основателя журнала причастен каждый представитель института. Мы росли вместе с авторами работ, а также с рецензентами. Это и есть жизнь многих представителей научного сообщества. Важно идти по непроторенным тропам прогресса в будущее. В то же время мы должны сочетать традиции, современность и инновации. Часто ожидаемые результаты появляются, благодаря незабытым успешным исследований прошлого. К каждому успеху и исследователю, которому он принадлежит, должно уделяться особое внимание и отношение.

Учитывая совпадение сроков организации ИПФ и ЭОМ и один и тот же путь развития этих научных организаций, постараюсь описать взаимозависимость и задачи института и журнала. Это важно потому, что я прошел этот путь рука об руку с коллективом института и сотрудниками журнала, мы всегда были вме-

сте при исполнении обязанностей в нашей семье и нашем научном доме – Институте прикладной физики.

Можем констатировать, что были подготовлены и выпущены 320 выпусков журнала, были прочитаны, исправлены, отредактированы и подготовлены к изданию десятки тысяч страниц. И это реальность, которая заслуживает быть отмеченной в ряду крупных событий. По сути, на протяжении всего периода своего существования журнал переводился и переиздавался на английском языке сначала в Англии, позже и в настоящее время – в США, что свидетельствует об убедительной важности и о перспективности электротехнологий, электрофизических и электрохимических процессов. Электричество полно очарования и красоты, поэтому, следует постоянно поддерживать высокий уровень и дух исследований и инноваций на пути прогресса в этой области знаний. Необходимо идти в ногу с требованиями и перспективами, соответствовать настоящему и, тем более, будущему. А предстоящие исследования и мероприятия по институту и журналу должны проводиться на основе имеющегося богатого опыта.

Научная деятельность – это лекарство, которое поддерживает сильные стороны и возможности исследователя. Мы должны беречь и хранить институт и журнал как сокровище, обязаны выделять ясные мысли, которые несут свет и тепло, а также быть успешными и известными в научном мире. Быть исследователем – это большое достоинство, которое достигается желанным и интересным трудом на всем жизненном пути. ИПФ и ЭОМ – это наше достояние, это книги, которые следует читать и дополнять ежедневно.

Мы благодарим авторов за красивые и содержательные работы, за поддержку журнала, который призван помочь им, конечно же, при соблюдении предусмотренных требований. С ЭОМ у авторов есть шанс превратить свои мечты и ожидания в реальность, стать известными в широких кругах научно-технической общественности. В то же время необходимо проявлять больше уверенности в себе, в своих возможностях и способностях.

Перелистывая страницы времени, с волнением вспоминаю этапы зарождения и становления ЭОМ. Приятно сознавать, что журнал развивается по восходящей траектории актуальности научных результатов и идей, научной ценности и практической



значимости публикуемых материалов, которые все увереннее пересекают самые широкие параллели и меридианы. Он стал заметным явлением среди научных периодических изданий и за пятьдесят пять лет прошел путь от первых номеров, состоящих преимущественно из материалов, подготовленных членами редколлегии, до многочисленных публикаций ученых из разных стран. У журнала было исключительное начало, которое имело достойное продолжение, он отличается таким же настоящим, и мы надеемся на успешное будущее. На пройденном пути редколлегия ЭОМ адаптировалась и осталась восприимчива к растущим издательским требованиям, обеспечивала регламентированное издание и постоянное переиздание журнала в английской версии без каких-либо отклонений от предусмотренных сроков, издательских норм и правил; добилась вхождения журнала в мировые банки данных (см.: <http://www.eom.phys.asm.md>), присвоения импакт-фактора, распространения журнала в твердой копии и электронном варианте (<http://www.allertonpress.com>; <http://www.springerlink.com>). Практикуется широкий обмен журналами с ведущими библиотеками многих стран. Таким образом, ЭОМ объединяет специалистов разных стран и континентов, способствует осознанию и пропаганде безграничных возможностей мира электричества.

Стало традицией выпускать юбилейные публикации и номера журнала, в том числе: 60-летие электроэрозионного метода обработки (2003, № 2), 40-летие Института прикладной физики (2004, № 2), Всемирный год физики (2005, № 3), 90-летие (2000, № 5) и 100-летие академика Бориса Лазаренко (2010, № 1–6), 60-летие (2006, № 3), 65-летие (2011, № 4) и 70-летие (2016, № 3) академической науки в Республике Молдова, 100-летие академика Якима Гросула – первого президента Академии наук Молдовы (2012, № 5), 50-летие (2013, № 7), 50-летие ЭОМ (2015, № 1) и 55-летие ИПФ (2019, № 1).

Они отличаются, быть может, определенной эмоциональностью, возвращают нас к различным пройденным этапам. Вчитываясь в летопись ЭОМ и ИПФ, ощущаешь, что ностальгия дополняется новыми реалиями, подтверждающими многоликость и величие электричества, иницирующего историю, традиции, инновации. В обзорах, издаваемых, как правило, к юбилейным да-

там, анализируются публикуемые материалы, констатируется, что журнал – это единый сплав способов получения и обработки материалов, электрических методов воздействия на традиционные и современные бурно развивающиеся технологические процессы.

Продолжается издание лицензионного журнала, распространяемого компанией Springer. Пропагандируя научные и инженерные достижения, журнал пользуется заслуженным признанием мирового научного сообщества, становится основным источником информации по новым применениям электричества. Надеемся, что, сотрудничая в международном масштабе, сделаем мир электричества и мир материаловедения доступнее и богаче.

Согласно лучшим традициям журнала, существенно расширяется круг зарубежных авторов, в редколлегию и группу рецензентов привлекаются известные ученые, в первую очередь из экономически и технологически развитых стран. ЭОМ – своеобразная и исключительная по своей важности коллекция технологий и инноваций, которую мы бережно храним и преумножаем. Журнал – один из значимых символов ИПФ и Академии наук, наша визитная карточка. Пройдя с «Электронной обработкой материалов» 55-летний путь, работая над каждым номером, испытываешь чувство ответственности и гордости за журнал, получивший международное признание. Журнал мы воспринимаем как жемчужину не только института, ЭОМ – это панорама публикаций о новых применениях электричества, информация, которая неизменно становится более интересной, содержательной и привлекательной.

Благодаря журналу очевиднее, что электричество – великий дар, его необходимо ценить, рационально использовать по прямому назначению без каких-либо трансформаций. ЭОМ – это парад электрических и электрофизических решений, это солидарность специалистов, связь поколений. И мы должны подпитывать журнал новшествами, продвигать его, чтобы ЭОМ стал более известным и признанным, стал моделью отражения и пропаганды современных и перспективных знаний и инноваций.

Волшебная сила науки – это и воспоминания, и стремления к новым горизонтам. В ближайшем будущем следует обеспечить свежесть, оригинальность и значимость публикаций, высокий

уровень рецензирования, искренность и уважительное отношение к авторам и читателям журнала, соблюдение издательских норм, успешное продвижение во впечатляющем и особо требовательном мире научных периодических изданий. Обязательство состоит в том, чтобы чувствовать то, что делаем, беречь и продвигать самые значимые представления об ЭОМ. Большие дела видны на расстоянии. Мы выросли с институтом и журналом, 55 лет – это период, в котором аккумулировались успехи, тревоги, надежды. Одолевали мысли, где и какими мы увидим себя через 5, 10 и 15 лет? Наука – это сущность перспектив, неизведанных возможностей. Будет передовая наука, отраженная в престижных международных журналах, увидим и ожидаемое будущее. ЭОМ – это возможность объективно оценивать достижения и служить стимулом для продвижения в охватываемых журналом областях знаний, это подспорье для роста экономики.

Мы начали с идей и надежд, сконцентрировались, у нас были амбициозные планы. И мы преуспели, у нас есть модель интеграции в международные периодические издания, есть возможности насладиться успехами наших авторов. Возможно, мы не всегда были примером, но сделали все возможное, ориентируясь и преодолевая конкретные ситуации. Если допускали ошибку, то ее исправляли. Были некоторые недостатки, но мы понимали, что падать не страшно, главное – встать; поняли, что сотрудничество – это не смотреть глаза в глаза, а смотреть в одном и том же направлении. Мы оправдали доверие научной общественности. Констатируем, что сильный человек-исследователь – это тот, кто может заложить прочный фундамент из кирпичей, которые бросили в него. Будущее принадлежит тем, кто верит в достижение своей мечты.

Творчество и талант являются определяющими факторами научного профессионализма. Понимаю, что не все одинаково талантливо, но быть вместе, достойно представлять электротехнологии, институт и ЭОМ – мы обязаны. Располагая технологиями и техническими средствами, мечтаем иметь возможности их продвигать и реализовывать. Любопытно увидеть последующие результаты, наметить новые цели и представить себе будущее. В то же время необходимо сохранять интеллигентность и доброту.

В будущем придут молодые специалисты, которые могут оказаться лучше нас. Но не будем забывать о специфике нашей деятельности и о том, что молодые отличаются от старшего поколения, живут по-своему и со своими ожиданиями. Кроме того, на развитие науки оказывает отрицательное влияние утечка мозгов. Пусть одиночество и чужбина не найдут места среди нас. Мы живем в современном научном мире, являемся участниками и почитателями интересных результатов, инновационных технологий и практик. Связь с прошлым и возможность сохранения воспоминаний дают нам определенные привилегии. Каждое начало является следствием, каждое начало что-то завершает. Главное, быть креативными, открытыми и добрыми, трудолюбивыми и мечтательными. Необходимо время, которое оправдает наши ожидания. При этом следует учитывать, что сумма идей – хорошо, но главное – это связь между ними.

Многие мнения и предложения авторов, читателей, рецензентов и издателей заслуживают внимания. Без этого журнал не существовал бы. И мы стремимся быть командой, которая интенсивно работает, организовано, коллективно, оперативно и главным образом – со всей объективностью, обеспечивая доброжелательную рабочую атмосферу. Вера в то, что мы делаем и планируем на будущее, является ключом к успеху. Подчеркиваю, что журнал стал изданием международного масштаба, его составление и подготовка к изданию происходят в Институте прикладной физики. Радуемся успехам молодых авторов, которые становятся служителями науки. Чувствую себя привилегированным, потому что была обязанность и право постоянно заботиться о журнале с момента его создания, являясь частью редакционной коллегии, большой семьи авторов и рецензентов.

Выражаю свою признательность академиям наук того времени, поскольку они дали жизнь институту и журналу, поддерживали их на протяжении многих лет. И сегодня у нас огромный научный потенциал, богатый архив работ с технологиями и достижениями. И очень важно, что мы удачно начали свой путь – в подходящее время.

Пишу о традициях института и журнала исходя из собственного опыта – много лет занимал и должность директора. В лучшие, пиковые для института годы в нем трудилось более

1200 сотрудников. Обеспечивали замкнутый цикл – от фундаментальных и прикладных исследований до технологий и технических решений, реализованных и продаваемых. В институте было более 80 докторантов и постдокторантов, ежегодно – более 20 защит диссертаций, в пиковый год – 28. Это критерии, к которым можем стремиться. В то же время, неоднократно спрашиваю себя: повторится ли это когда-нибудь снова?

Не всякая деятельность приносит и приносит успех, но без активности и результата нет. Мы освоили и совершенствовали стиль, приемы, искусство исследований и инноваций. Многие коллеги поставили и могут ставить автографы на материалы и технологии настоящего, но что важнее и принципиальнее – будущего. Современные и будущие исследователи преуспели и преуспевают в создании коллективов, научных школ и мостов профессиональной деятельности.

Оставшись единственным из состава первоначальной редколлегии, отмечу, что заботился о журнале в течение 55 лет. Вспоминая многолетнюю деятельность, констатирую, что опыт – это имя, которое каждый вкладывает не столько в свои успехи, сколько в свои ошибки. Сдавал экзамен в течение долгого времени, было нелегкое начало, когда написание работ и комплектование изданий обеспечивалось своими собственными статьями. Но это было начало, которое имело хорошее продолжение, журнал увеличивает свою ценность и обогащает свой опыт.

Прошедшие 55 лет, богатые работами и событиями, благодаря преимуществам электрофизических и электрохимических технологий, усердной редакционной работе, впечатляют. И надеемся, что прошлое и настоящее будут сопровождаться успешным будущим. Если бы человеку было дано две жизни, я посвятил бы их нашему институту и юбилейному журналу. Успокаивающим моментом является то, что мы предприняли все, что было в наших силах, и шли, я бы сказал успешно, по пути судьбы и новых технологий (к 50-летию Института прикладной физики Академии наук Молдовы. Электронная обработка материалов. 2013, 49 (7), 1–314.). Мы живем этими событиями и нашими буднями, но самое главное – со многими возвышенными начинаниями и богатым опытом. ИПФ и ЭОМ – важные достижения, и мы долж-

ны продолжать искать общие цели и дела, чтобы не было безвыходных ситуаций.

Скучаю по навсегда ушедшим нашим коллегам – членам академии, редколлегии. На протяжении многих лет они были руководителями академии, отделений, институтов, лабораторий, создателями научных школ. С годами все острее ощущается отсутствие бывших коллег. Все чаще стало казаться, что сейчас откроется дверь кабинета, в котором неизменно нахожусь со дня сдачи лабораторного корпуса в эксплуатацию (1968 г.), и войдет кто-нибудь из них – они это делали по доброй традиции на протяжении всего периода слаженной совместной работы и искреннего взаимопонимания. Это были «звезды» науки в первом поколении академии, которые, к счастью, остались в ярких и добрых наших воспоминаниях. Успокаиваю себя тем, что, пока о них помним, – они с нами. Будем чаще произносить их имена и вспоминать.

Особая благодарность – ветеранам, которые были рядом с нами и публиковали работы с уникальными результатами, являющимися частью важных достижений, выдающихся успехов и ориентиров. Стремясь к будущему, мы должны понять, каковы были цели, каковы перспективы и условия для обеспечения растущих потребностей научной и редакционной жизни. В этом контексте призываю практиковать сотрудничество и партнерство для обеспечения достойного международного распространения журнала. Он был хорошо продуман, мы остаемся с накопленными знаниями, а также с надеждой на более широкое сотрудничество с авторами, с актуальными и потенциальными рецензентами, которые не остаются равнодушными к ЭОМ.

Мы всецело поддерживаем переиздание журнала. И должны обеспечить достойное его распространение, чтобы быть ближе к успехам, соответствующим времени, и гордиться ими. Должны предугадывать требования времени, оправдывая приоритеты настоящего, и иметь более широкий и уверенный выход в издательский мир. Журнал – это фестиваль инноваций, красивых и бессмертных работ. В журнале мы находим технологии, которые заслуживают самой высокой оценки. Надеемся, что основные успехи принадлежат будущему, а ЭОМ является и будет являться источником вдохновения, платформой и дорогой в будущее.

С момента своего основания журнал был и остается частью моей души. Как и другие коллеги, редактировал, писал, рецензировал. Впечатляли многие работы, а те, что касались электроэрозионной обработки, были феноменальными. Думаю, достойно продолжаем дело основателя электроэрозионного метода и журнала академика Бориса Романовича Лазаренко. На протяжении этих лет предприняли все, что было возможно, для выполнения растущих требований научной и редакционной жизни. Спасибо всей команде! Таким образом, ЭОМ – журнал настоящего и будущего – выжил, активизирует свою деятельность и выполняет свой долг. Давайте чаще будем открывать его и вчитываться в статьи, посвященные нашей работе, жизни коллег, их биографий. Читателю должны дать то, чего он ожидает, а ЭОМ можно сравнить с цветущим и плодоносящим садом, которым можно восхищаться.

Мы работали, мы добросовестно выполняли свой долг. Институт и журнал вдохновляют современные исследования и разработки, создают и консолидируют сотрудничество, которое прошло испытание временем. Уже живем в другом столетии. Произошли разные и многочисленные изменения; в то же время есть воспоминания и усилия, направленные на то, чтобы соответствовать времени. И было бы хорошо оставаться противниками малых фактов и сторонниками значимых, жизненно важных событий. Исследуем, пишем, редактируем, рецензируем, составляем выпуски журнала, в том числе юбилейные – прекрасная традиция. Получаем и рассматриваем статьи, всегда находясь на виду научного сообщества.

ЭОМ был и остается в центре нашего внимания. И, приближаясь к 110-летию основателя журнала, пожелаем, чтобы авторы радовали читателей самыми интересными работами и достижениями. Приветствуем и благодарим их за профессионализм, за то, что они всегда с ЭОМ. Пишу об этом с мыслями о хороших работах, в частности обзорных, надеюсь, что будет много новых результатов, специфичных для настоящего времени и перспектив, что будут достойные публикации и выпуски журнала. У нас есть талантливые авторы. ЭОМ – легенда, особенно для тех, кто готовит, комплектует и продвигает каждый номер журнала, который впоследствии становится достоянием научного и инженерного

сообщества. Прошлое изменить нельзя, будущего не избежать и следует сконцентрироваться на работах и событиях, которые дополнят череду наших успехов.

Благодаря качеству публикаций журнал знают и ценят на международном уровне, что свидетельствует о заслуженном его авторитете. Выражаем наше уважение и удовлетворение за накопленные знания и опыт. Авторы успешно выполняют свой долг, они являются частью научного сообщества – выросли благодаря напряженной работе и продвигают научную жизнь и имидж ЭОМ. Заслуживают особого внимания известные авторы из разных стран, их публикации становятся частью общего успеха, технологий и техник.

Профессиональные диалоги, конференции исследователей радуют коллективными обсуждениями, выбором лучших работ, ориентацией на перспективные области, претворением в жизнь новых идей, демонстрацией нацеленных на будущее исследований, сочетанием классических, современных и перспективных подходов. Эта ситуация мобилизует на новые исследования, результаты и оригинальные публикации, благодаря которым читатель мог бы насладиться новыми технологиями и инновациями, сотрудничеством опытных исследователей и перспективных молодых людей. ЭОМ демонстрирует, что наука не знает старости, что семена, брошенные в приоритетных областях, дают богатые и качественные урожаи. И для обеспечения профессионализма необходимо копать глубоко, чтобы не ориентироваться на эфемерные моменты и успехи.

Журнал необходимо привести в соответствие с международными требованиями уровня и распространения, с выполнением строгих обязательств. ЭОМ все более настойчиво выступает в роли «подиума» международной, исследовательской и инженерной модели. Заверяем, что результаты исследований и инноваций никогда не исчезнут со страниц ЭОМ. Научная деятельность должна быть совместима с желанием и возможностью, когда делаете то, что можете и что нравится, в строгом соответствии с утвержденными программами и стратегиями. Редактирование и рецензирование – болезненные процессы, но необходимые и полезные. На протяжении многих лет нас окружают и воодушевляют добросовестные коллеги и работники, которые считают, что



наука – это жизнь, благородная деятельность и выполнение обязательств по продвижению результатов в престижном журнале ЭОМ. Прошло 55 лет, наполненных плодотворной научной деятельностью, ознаменовавшихся важными, интересными фундаментальными и прикладными результатами, современными и перспективными технологиями и техническими решениями (см. Институту прикладной физики 55 лет. Электронная обработка материалов? 2019, 55 (1), 1–11). Удовлетворены прошедшим периодом и мобилизуем себя для решения предстоящих проблем. Необходимо оставаться сплоченным коллективом во всех делах и ожиданиях. Следует предпринимать все возможное, чтобы достигнуть интересные результаты.

Наука и инновации – это тандем, ожидания и активизация деятельности с любовью и доверием во имя будущего и широкой видимости электротехнологий, ИПФ и ЭОМ. Мы гордимся вниманием и участием в нашей деятельности авторов из многих стран. С годами становится ясно, что не все из нас могут быть талантливыми, но быть на более высокой ступени, чем были вчера, мы обязаны. Кроме того, часто приходится делать не то, что желаем, а то, что диктует ситуация. Любая область деятельности должна развиваться, и мы должны быть на волне настоящего, потому что это начало будущего. Никто не знает нужды и потребности лучше нас самих. Поэтому, если будем вместе, то продолжатся традиции, которые заслуживают поощрения и развития.

Имея богатый опыт, мы должны двигаться в будущее, чтобы соответствовать растущим требованиям издательской деятельности. Необходимо усвоить полезные уроки, чтобы определить ориентиры, к которым можем стремиться. В журнале все еще есть место для достижений, на которые следует ориентироваться. Будущее непредсказуемо. Оценка результатов, определение основных проблем и интенсивность работы остаются основными факторами, влияющими на нашу деятельность. Чтобы достичь максимальных результатов, необходимо сотрудничество, партнерство, готовность к новым вызовам.

Мы должны достичь совершенства в издании журнала, делать то и так, что и как делают известные, признанные журналы, чтобы быть в ряду с наиболее престижными из них. Вполне

ожидаемо, что в условиях сильной издательской конкуренции следствием хорошего сотрудничества является ежегодное увеличение объема журнала SEAE. Подчеркиваю, что ЭОМ полностью переиздается в предложенном нами формате, безусловно, в соответствии с договорными правилами и положениями, установленными международными отношениями, с акцентом на качество и пунктуальность. Ситуация беспокоит, иницилируя желание и волю постоянно расти, становиться более интересными и эффективными. Надеемся увидеть себя в современном издательском мире, отличающимся растущими запросами во всех аспектах деятельности.

Мы стремимся перенимать, использовать опыт наиболее успешных и признанных специалистов, понимаем необходимость быть корректными на всех этапах продвижения работ, пунктуальными во взаимодействии с авторами, рецензентами, чтобы заслужить высокую оценку журнала. Благодаря добросовестной работе, преданности коллег интересам авторов, объективности рецензентов, ЭОМ имеет заслуженное настоящее, и, надеемся, станет журналом будущего.

Годы уходят, мы прогрессируем, адаптируемся к требованиям, становимся более пунктуальными и эффективными в преодолении препятствий. Было бы хорошо, если бы каждый и все вместе осознали и оценили значимость журнала, в том числе с той точки зрения, что он представляет собой нормативный критерий существования и деятельности научного учреждения. Глубокое понимание ситуации необходимо, чтобы преодолеть все неопределенности. ЭОМ – это явление, возможность выйти в мир, стать известными, наладить сотрудничество, участвовать в обмене опытом, объединять команды.

Журнал входит в историю (рис. 2.2), и мы очень надеемся, что его основатель повторит себя в учениках. Эта внушительная часть нашей жизни была большим подарком судьбы с ценными уроками научного и редакционного профессионализма. В юбилейный год мы находимся на границе, когда завершается один период, начатый 55 лет назад, и начинается другой. Направления деятельности института и журнала являются областями безграничных возможностей, обеспечивающими идеальную гармонию между фундаментальными, технологическими и инженерными науками.



*Рис. 2.2. На пройденном пути*

Уважение традиций – черта не только научного сообщества. Великое благо находится в волшебном, удивительном мире электричества и электротехнологий, которые имеют огромный потенциал. Наука есть и будет непознанным сокровищем будущего. Сложно представить себе новые технологии, которые появятся в будущем. В журнале прошлое, настоящее и будущее – традиции, современность и предчувствие нового – переплетаются в диалектическом единстве, отражая динамику нашего времени.

Научно-редакционная работа не имеет перерыва. На юбилейных перепутьях рождаются новые идеи и возможности для диверсификации и углубления исследований и достижений, которые вдохновляют и вселяют надежду на благоприятные времена и условия для исследовательской работы.

Мы обязаны развивать фундаментальные и прикладные исследования, поддерживать мосты сотрудничества, которые требуют особого внимания и отношения. В этих действиях отсут-

ствуют второстепенные элементы, внешние условия становятся более строгими. Поэтому, мы должны быть готовы к напряженной работе. Оставаясь верными профессиональным традициям, мы сделаем все, чтобы, говоря об электротехнологиях, все знали, что речь идет об Институте прикладной физики и журнале «Электронная обработка материалов». Пожелаем журналу успешного и светлого будущего!

### 2.3. Научное наследие Бориса Никифоровича Золотых в области электроэрозионной обработки материалов



**Борис Никифорович ЗОЛОТЫХ**  
(1920–2008).

**Впервые теоретически  
и экспериментально обосновал  
тепловую модель разрушения  
материалов при ЭЭО  
и сопутствующие процессы в МЭП**

Б.Н. Золотых окончил физический факультет МГУ в 1943 г. Работал в научно-исследовательских организациях АН СССР, в том числе в ЦНИЛ-Электром и в промышленности (1943–1965). Преподавал в МИЭМ с 1965 по 2004 г.

Специалист в области электрофизических методов обработки. Впервые в мире осуществил широкий комплекс фундаментальных исследований физической природы электрической эрозии металлов, что позволило создать научные основы электроэрозионной обработки. Заслуженный деятель науки и техники СССР. За вклад в развитие ракетно-космических технологий награжден медалями им.

М.В. Келдыша, Ю.А. Гагарина, В.П. Глушко. Академик Российской академии космонавтики им. К.Э. Циолковского.

Работы Бориса Никифоровича Золотых зримо иллюстрируют основополагающие методологические принципы современной прикладной науки: от экспериментального факта – к научной гипотезе, от гипотезы – к разработке теоретической модели, от теории – к практическим рекомендациям и далее к промышленным технологиям.

Во главу угла своей научной деятельности Борис Никифорович всегда ставил теоретическую компоненту научного творчества. Будучи физиком по образованию, он поставил и решил ряд теоретических задач, заметно продвинувших наши представления о механизме разрушения материалов в результате электрической эрозии. Вместе с тем, он всегда интересовался инженерной стороной вопроса, работал в тесном контакте с инженерами-технологами.

Главный труд его жизни в науке – это, по мнению авторов, его докторская диссертация, особенно, экспериментальная ее часть, выделенная в отдельный том. На вопросы о том, почему он не опубликовал материалы диссертации в виде монографии, Борис Никифорович, как правило, ссылаясь на недостаток свободного времени. Рассмотрим и обсудим основные результаты, представленные в этом научном произведении и других опубликованных работах Б.Н. Золотых, список которых содержит более сотни наименований.

### ***2.3.1. Экспериментальные исследования закономерностей электрической эрозии металлических материалов в жидкой диэлектрической среде***

Первопричиной эрозии является выделение энергии на электродах. Превращение этой энергии в работу (теплоту) разрушения кристаллической решетки электродов по сути дела лежит в основе эрозионного съема металла. Поэтому в основе исследований процесса электроэрозионного разрушения материалов должен лежать вопрос о распределении выделяющейся энергии между электродами (баланс энергии в канале разряда и приэлектродных областях). На основе общих представлений физики газового разряда на длинных межэлектродных промежутках (МЭП)

напряжение на электродах,  $U_3$ , представлялось в виде суммы трех основных слагаемых

$$U_3 = U_k + U_a + U_c, \quad (1)$$

где  $U_k$ ,  $U_a$  – падение напряжения в прикатодной и прианодной областях,  $U_c$  – падение напряжения в столбе разряда. Соответственно, энергия разряда  $W_n$  представлялась в виде суммы энергий, выделяющихся в прианодной ( $W_a$ ) и прикатодной ( $W_k$ ) областях и энергии, выделяющейся в столбе разряда ( $W_c$ ).

*Предстояло обосновать возможность распространения этих представлений для условий ЭЭО, то есть, на случай разряда на малых промежутках, когда взаимное влияние процессов на электродах становится существенным и вопрос о структуре канала разряда остается открытым. Следует заметить, что экспериментальное изучение распределения потенциалов в канале разряда и в промежуточных областях в данном случае чрезвычайно затруднено из-за локального протекания процесса разряда в весьма малой пространственно-временной области (время протекания разряда  $10^{-6}$ – $10^{-3}$  с, размеры МЭП не более 100 мкм). Тем не менее, Борис Никифорович (далее – БН) совместно с А.И. Кругловым взялся за решение такой задачи и разработал специальную методику и оборудование для измерения градиентов напряжения в условиях импульсного низковольтного разряда в жидкой диэлектрической среде. Сущность методики заключалась в записи и последующем анализе осциллограмм тока и напряжения в процессе сближения электродов от положения, соответствующего холостому ходу (отсутствие пробоя), до короткого замыкания.*

Эксперименты, проведенные для различных сочетаний материалов электродов (Cu-Cu, Cu-Al, Cu-Fe, Cu-Ni, Cu-Mo, сталь-латунь, ВКЗ – чугун) убедительно подтвердили возможность представления канала разряда в виде областей анодного и катодного падений напряжения и столба разряда. Эти эксперименты позволили достоверно оценить сумму анодного и катодного падений напряжения и подтвердить тот важный факт, что эта величина незначительно меняется в течение длительности импульса (в пределах 20%). Следовательно, изменение напряжения на электродах осуществляется, главным образом, за счет изменения падения напряжения в столбе разряда.

Обработка результатов осциллографирования тока и напряжения позволила также рассчитать и оценить энергию импульса  $W_{\text{и}}$  и ее составляющие.

Оказалось, что величина энергии импульса падает с увеличением длины межэлектродного промежутка  $l_{\text{н}}$  (особенно заметно при  $l_{\text{н}} < 15$  мкм). Это приводит к снижению величины эрозии электродов. Потери энергии в канале разряда  $W_{\text{с}}$  увеличиваются с возрастанием  $l_{\text{н}}$ , достигая значений 40–50% от  $W_{\text{и}}$  ( $l_{\text{н}} = 20$ –40 мкм). Эти потери существенно зависят от материала электродов, по мнению БН, из-за участия паров материала электродов в формировании газопаровых образований в канале разряда.

Полученные экспериментальные данные легли в основу формирования общих положений теории электрической эрозии и дали возможность выполнить оценку ряда параметров эрозионного процесса. В частности, предстояло экспериментально выявить взаимосвязи эрозии электродов с энергией и длительностью импульса, теплофизическими характеристиками материала электродов, полярностью их подключения к источнику питания.

При исследовании влияния энергии импульса на величину эрозии Борис Никифорович исходил из того, что процесс эрозии может быть представлен, как частичное испарение и плавление локального объема металла под воздействием нестационарного теплового потока, возникающего на электродах в результате импульсного разряда. Такое представление физической природы электрической эрозии предполагает наличие прямой связи величины эрозии с энергией, выделяющейся в межэлектродном промежутке за время импульса. Линейный характер такой зависимости был экспериментально доказан и отражен в кандидатской диссертации БН (1947 г.). Было показано, что в общем виде зависимость величины эрозии электрода в единицу времени (объемная скорость эрозии,  $Q_3$ ) может быть представлена следующим образом:

$$Q_3 = k_3 \cdot f \cdot W_{\text{и}} = k_3 \cdot P_{\text{ср}} \quad (2)$$

где  $k_3$  – коэффициент, зависящий от материала электрода, полярности его подключения, состава жидкой среды, длительности

импульса,  $f$  – частота следования импульсов,  $P_{\text{ср}}$  – средняя мощность, выделяющаяся в МЭП.

Однако, более поздние эксперименты выявили отклонения от линейности и заставили изучить рассматриваемый вопрос более подробно.

Поскольку зависимость (2) определяет основную технологическую характеристику процесса ЭЭО – производительность обработки, – предстояло исследовать влияние на нее различных факторов и объяснить возможные отклонения от линейности. Заметим, что такие данные в первую очередь были необходимы технологам, проектирующим и использующим технологии ЭЭО, как для оценки производительности, так и для нормирования работ.

С этой целью БН с сотрудниками разработали методику проведения экспериментов и провели многочисленные исследования в широком диапазоне энергий (0,1–5 Дж) и длительностей (50–1500 мкс) импульсов. В результате обработки экспериментальных данных было показано, что в общем случае линейное представление функции  $Q_3 = f(W_{\text{и}})$  является приближенным и выполняется только тогда, когда вся поступающая на электроды энергия расходуется на процессы фазовых превращений материала электродов либо доля этой энергии в энергетическом балансе МЭП постоянна. Наблюдаемые отклонения от линейности во всех случаях объяснялись авторами изменением доли теплового потока (энергии), вызывающего фазовые превращения материала электрода.

*В результате проведенных исследований было установлено следующее:*

– экспериментально установлена и объяснена общая закономерность влияния энергии импульса на скорость эрозии;

– погрешность, вносимая линеаризацией функции  $Q_3 = f(W_{\text{и}})$ , зависит от длительности импульса, материала электродов, диапазона значений  $W_{\text{и}}$ , и лежит в пределах  $\pm 20\%$ ;

– линейное приближение функции  $Q_3 = f(W_{\text{и}})$  имеет практический смысл, поскольку существенно упрощает технологические расчеты;

– для получения более точных результатов необходимо использовать кусочно-линейную аппроксимацию функции  $Q_3 = f(W_{\text{и}})$ .



Эти сведения позволили уточнить имевшиеся представления о природе электрической эрозии и роли в ней процессов энерговыделения. Полученная информация обладает высокой степенью достоверности, так как экспериментальные исследования, выполненные БН с сотрудниками, охватывали 18 пар электродных материалов. Вместе с тем, описанные исследования были направлены на выяснение влияния энергии импульса на скорость эрозии при неизменной длительности импульса. Однако ясно, что длительность импульса,  $\tau_n$ , определяя интенсивность тепловых потоков в рассматриваемой системе, должна существенно влиять на эрозионный эффект. Поэтому для обобщения имеющихся данных по этому вопросу БН осуществил специальный цикл экспериментальных работ для получения и анализа зависимостей вида  $Q_3 = \varphi(\tau_n)$  при  $W_n = \text{const}$  для большой группы различных электродных материалов.

Обобщение опытных данных показало, что указанная зависимость имеет, в общем виде характер кривой с максимумом. Причем длительность импульса  $\tau_n^*$ , соответствующая максимальной скорости эрозии, возрастает с увеличением энергии импульса. Было замечено также, что величина  $\tau_n^*$  зависит от материала электродов, полярности их подключения (значения  $\tau_n^*$  для анода и катода, как правило, не совпадают, а сдвинуты в ту или иную сторону по шкале  $\tau_n$ ). Выявлена тенденция к снижению  $\tau_n^*$  с возрастанием теплофизических констант электродных материалов: теплопроводности,  $\lambda$  и температуропроводности,  $a$ .

Важным результатом этих исследований явился идентичный характер зависимостей  $Q_3 = \varphi(\tau_n)$  для случая единичного импульса и интегрального эрозионного эффекта (обработка серией импульсов при достаточно большой длительности паузы между импульсами,  $\tau_n$ ). Эти данные подтвердили возможность перенесения результатов, полученных при изучении элементарных эрозионных актов, на интегральный процесс (при отсутствии взаимного влияния импульсов).

Эти исследования послужили еще одним доказательством определяющей роли нестационарного процесса распространения тепла в механизме эрозии электродов и стали основой, как будет показано далее, для обоснования теоретической модели процесса разрушения материала при ЭЭО. Важным результатом явилось

экспериментальное подтверждение и обобщение той роли, которую играет полярность подключения электродов в механизме разрушения.

Тепловая природа процесса эрозии предполагает существенное влияние теплофизических свойств материала электродов на интенсивность эрозионного съема металла. Этому вопросу БН уделил значительное внимание при проведении экспериментальных работ. В результате была подтверждена роль теплофизических свойств материала при определении эрозионной стойкости материалов, показана возможность получения критерия Палатника на основе простой физической модели и выявлены границы применимости этого критерия.

Выполняя описанные выше экспериментальные работы, которые отражают конечные результаты воздействия электрического разряда на поверхность электродов, БН пришел к выводу о необходимости исследования динамических характеристик импульсного разряда, описывающих развитие во времени всей совокупности процессов, сопровождающих разряд и формирующих, по сути дела, конечный эрозионный эффект. Он хорошо понимал, что без обоснованных представлений о динамике процессов, протекающих в МЭП, невозможно построение адекватной теоретической модели ЭЭО.

Специфика объекта исследования и физических условий осуществления разряда определила ряд трудностей, которые пришлось преодолеть на этом пути при разработке, как методики исследования, так и специального экспериментального оборудования. Эти трудности были настолько существенны, что на проведении соответствующих экспериментов по оценке самого Бориса Никифоровича ушло около 15 лет.

Следует отметить тот факт, что процесс эрозии электродов является результатом совокупности взаимосвязанных процессов, протекающих параллельно-последовательно в ограниченной пространственно-временной области (образование и развитие проводящего канала разряда, газовой полости, гидродинамические явления, выброс паровых факелов и капель расплава в жидкую фазу и прочие).

Для получения надежной информации о таких процессах необходимо было использовать такие экспериментальные методы

и исследовательское оборудование, которые обеспечивали бы требуемое временное разрешение ( $10^{-6}$  с) и регистрацию быстро протекающих стадий изучаемых процессов.

С этой целью были разработаны специальная методика и оборудование, позволяющее осуществлять скоростную кино съемку процессов, протекающих в окрестностях канала разряда и на электродах, как в области оптической части спектра, так и в рентгеновских лучах. В последнем случае оптическое излучение канала разряда не мешало фиксировать теневое изображение отдельных стадий исследуемых процессов.

Для изучения развития канала разряда, движения факелов паров, развития газового пузыря и движение ударной волны использовалась киносъемка со скоростью от  $5 \cdot 10^3$  до  $3 \cdot 10^6$  кадров в секунду (минимальное временное разрешение  $3 \cdot 10^{-7}$  с).

Для изучения быстропротекающих процессов в диапазоне рентгеновского излучения БН с сотрудниками разработали специальную рентгеновскую острофокусированную импульсную трубку с длительностью импульса излучения от 10 до  $2 \cdot 10^3$  мкс.

Одновременно со скоростной киносъемкой осуществлялось осциллографирование тока и напряжения в импульсе. В результате проведения многочисленных экспериментальных съемок, анализа фильмов и отдельных снимков удалось обнаружить и установить целый ряд особенностей протекания вышеперечисленных процессов, определяющих динамические характеристики ЭЭО.

*Проведенные экспериментальные работы, которые и сейчас поражают широтой фронта исследований, уникальностью использованного оборудования и виртуозной техникой эксперимента, позволили установить следующее:*

1. В начале разряда между электродами появляется паровое облако, которое расширяется со скоростью примерно 50 м/с и принимает шаровидную форму (остроконечные электроды). К концу импульса ( $W_{\text{и}} = 5$  Дж,  $\tau_{\text{и}} = 500$  мкс) это облако достигает максимальных размеров. Далее в результате остывания и конденсации паров вместо него формируется газовый пузырь, который некоторое время ( $\approx 250$  мкс) расширяется со скоростью 3–5 м/с. Внутри пузыря наблюдались трассы перемещающихся со скоростью 10–20 м/с частиц. Примерно через 1–1,2 мс после начала импульса газовый пузырь вследствие охлаждения, конденсации

паров начинает сжиматься и через 2–2,5 мс разрушается, теряет компактную форму, образуя облако мелких частиц и пузырьков газа. Изменение энергии и длительности импульса качественно не изменяет описанную выше картину.

Дальнейшие эксперименты позволили установить тот факт, что при свободном расширении характер изменения формы газового пузыря качественно близок к картине пульсации газового пузыря при точечном взрыве под водой, и для его описания можно использовать известную задачу гидродинамики.

2. Сравнение результатов, полученных в условиях свободного (остроконечные электроды) и стесненного (щель ~50 мкм) расширения газопаровых образований показало, что качественная картина гидродинамических процессов остается одинаковой. Установлено существенное влияние геометрии МЭП и микрогеометрии электродов на количественные характеристики динамики пузыря.

3. Было найдено, что эвакуация металла и формирование лунки запаздывают по отношению к импульсу тока, что интерпретировалось следующим образом. По мере нарастания тока скорость испарения металла с поверхности электродов растет и давление в зоне, окружающей канал разряда, увеличивается. Поверхность электрода вследствие этого перегревается до температур выше температуры кипения при нормальных условиях. Возникшее при описанных условиях давление внутри газовой полости вызывает прогрессивное ее расширение. По прекращении прохождения тока между электродами интенсивность испарения резко падает. К этому времени становятся заметными процессы конденсации паров металла. Этот фактор и продолжающееся по инерции расширение газового пузыря приводят к резкому падению давления внутри пузыря (вероятно, ниже атмосферного). Это приводит к вскипанию перегретого металла и его выбросу в виде паров и капель. Зависимость скорости движения таких частиц от расстояния до оси канала приводит к формированию конуса выбрасываемых частиц, наблюдаемого визуально на полученных кадрах фотосъемки.

4. В начальной стадии развития разряда *установлено формирование ударной волны в жидкости, которая очень быстро (300–3500 м/с) перемещается от канала разряда в объем жидкости и не играет существенной роли в удалении металла из лунки.*

5. Результаты скоростной съемки ( $2 \cdot 10^6$  кадров/с) позволили получить сведения о динамике расширения разрядного канала и процессах, протекающих на электродах. Установлено, что распределение интенсивности теплового источника на поверхности электрода можно аппроксимировать функцией вида  $q = A \cdot e^{-k \cdot r^2}$ , где  $A, k$  – некоторые коэффициенты,  $r$  – расстояние от оси канала разряда. *Экспериментально обоснована возможность представления процесса нагрева электрода, как результат воздействия плоского источника тепловыделения.*

6. Исследование факелов выброса паров позволило получить ценную информацию об их структуре, динамике развития и скорости движения.

7. Данные импульсной рентгеновской съемки подтвердили представленные выше особенности физической модели разрядного и эрозионного процессов. *Так, был подтвержден факт запаздывания формирования лунки по отношению к импульсу тока.* Полярность электродов сильно влияет на скорость роста глубины эрозионной лунки (на аноде существенно выше, чем на катоде) и практически не сказывается на скорости возрастания ее диаметра.

*Таким образом, данные скоростной киносъемки, проведенные в видимой и рентгеновской части сектора, убедительно показали, что гидро- и газодинамические процессы, развивающиеся в МЭП под действием разряда, играют существенную роль в процессе эрозии. Эти данные позволили оценить порядок ряда величин, определяющих кинетику и динамику развития факела паров, газовых и паровых образований, что послужило надежной основой для дальнейшего построения количественных и полуквантитативных моделей.*

Осмысливая полученные данные, Б.Н. Золотых прекрасно понимал, что важнейшее значение при описании и исследовании явления эрозии приобретают процессы, протекающие в поверхностных слоях металла. Эти процессы характеризуются наличием высокоинтенсивных кратковременных поверхностных источников тепла, обеспечивающих формирование в поверхностных слоях градиентов температуры порядка  $10^6$ – $10^8$  град/с при нагреве и  $10^4$ – $10^6$  град/с при охлаждении, что неизбежно приведет к существенному изменению физико-механических свойств поверхностных слоев.

В этой связи БН поставил и совместно с сотрудниками осуществил цикл экспериментальных работ, которые позволили установить следующее:

– на поверхности металла, подвергнутого электроэрозионному воздействию, наблюдается, так называемый белый слой, имеющий неоднородную геометрию и структуру, как по глубине, так и по длине образца. Установлено, что это слой оплавленного металла, содержащий различные неравновесные структурно-фазовые составляющие;

– на состав поверхностного слоя оказывает существенное влияние, как состав жидкой рабочей среды, так и материал электрода. Так, при микротвердости основы 270–300 кГ/мм<sup>2</sup> микротвердость поверхностного оплавленного слоя при обработке катодами из латуни, алюминия и серого чугуна составила соответственно 475, 500 и 1650 кГ/мм<sup>2</sup>. Увеличение микротвердости в первых двух случаях исследователи объяснили насыщением металла углеродом из рабочей жидкости, а для чугунного противоэлектрода по-видимому, характерен перенос материала, насыщенного углеродом, на образец;

– толщина оплавленного слоя зависит от энергии,  $W_{\text{и}}$ , и длительности,  $\tau_{\text{и}}$ , импульса;

– под оплавленным (белым) слоем находится слой, не претерпевший аллотропических превращений, но подвергнутый термическому воздействию, что выражается в изменении структурно-фазового состава. Величина этого подслоя составляет (2–6)  $h_6$ , где  $h_6$  – толщина белого слоя. Величина термоизмененного слоя также сильно зависит от  $W_{\text{и}}$  и  $\tau_{\text{и}}$ ;

– наличие высоких градиентов температур приводит к возникновению в поверхностном слое сложного напряженного состояния. Величина термических напряжений может в ряде случаев превосходить предел прочности материала, что приводит к появлению микродефектов типа трещин. В близлежащих к эрозионной лунке зонах могут иметь место пластические деформации, вид которых зависит от природы металла. Выявлено два вида микротрещин. Первый из них поражает наружную часть оплавленного слоя, не распространяясь в низлежащие слои (сталь Х12М). Во втором случае микротрещины образуются в нижней

части оплавленного слоя и по границам зерен распространяются вглубь (ЭИ437Б);

– получена эмпирическая зависимость толщины оплавленного слоя от энергии импульса в виде  $h_6 = k_6 \cdot \sqrt{W_u}$ , где  $k_6$  – коэффициент, зависящий от природы материала электрода;

– установлено, что в оплавленном слое сохраняются значительные остаточные растягивающие напряжения, которые носят не только термическое происхождение, но и связаны с изменениями объемов структурных составляющих при образовании новых фаз.

Все вышеприведенные результаты получены БН, как на основании большого объема собственных экспериментальных данных, так и обобщения данных других исследователей. Эти результаты позволили не только подтвердить и дополнить тепловую модель разрушения материала при эрозии, но и составили объективный материал для оценки и дальнейшего изучения свойств поверхностного слоя при электроэрозионной обработке. На основе полученных данных разработаны справочные и руководящие материалы, широко используемые в производстве.

Цикл экспериментальных исследований, проведенных Б.Н. Золотых с сотрудниками, показал, что электрический разряд в диэлектрической жидкости сопровождается развитием тепловых, гидро- и газодинамических, термомеханических, термохимических и иных процессов, которые в своей совокупности определяют механизм электрической эрозии. Стало ясно, что для разработки феноменологической теории электроэрозионной обработки необходимо сформулировать и рассмотреть следующие основные задачи:

– о балансе энергии в МЭП, механизме передачи энергии электродам, взаимосвязи энергетических процессов в канале разряда и на электродах;

– о нестационарном процессе распространения тепла в электроде от сосредоточенного, высокоинтенсивного источника;

– о гидродинамических процессах в промежутке;

– о нестационарном поле термических напряжений, возникающих в поверхностных слоях электродов.

Принимаясь за эту работу, БН стремился не только построить основы феноменологической теории электроэрозионной

обработки, но и наметить инженерные методы расчета ее технологических характеристик, пригодные для технологического проектирования и разработки оборудования.

### 2.3.2. Теоретическое описание механизма и построение феноменологической модели процесса электроэрозионной обработки

#### Энергетические процессы на электродах и в столбе разряда

Анализ энергетических процессов, прежде всего, связан с механизмом развития канала импульсного разряда. Точное решение этой задачи не представлялось возможным из-за отсутствия достоверных сведений о целом ряде величин, входящих в расчетные выражения. Тем не менее, БН осуществил корректную постановку упрощенной задачи, что позволило получить аналитические выражения для количественных оценок. Для этого пришлось тщательно обосновать целый ряд упрощающих допущений и ограничений. Так, было установлено, что при длительностях импульса  $\tau_{и} \geq 10^{-6}$  с для приближенных оценок может быть использована теория квазистационарной изотермической плазмы, развитая к тому времени в целом ряде работ.

Баланс энергии при разряде представлен аддитивно в виде

$$W_{и} = W_{а} + W_{к} + W_{с} \quad (3)$$

Очевидно, необходимо было проанализировать физическую природу слагаемых в правой части этого выражения и сделать соответствующие оценки. Энергетические процессы в столбе разряда описываются балансным уравнением, отнесенным к единице столба разряда  $P_{с} = P_{и} + P_{т}$ , где  $P_{с}$  – средняя мощность в единице столба разряда, выделяемая к рассматриваемому моменту времени,  $P_{и}$ ,  $P_{т}$  – потери мощности на излучение и теплопроводность соответственно.

В рамках сделанных допущений и ограничений анализ этого уравнения привел к расчетному выражению для оценки градиента  $E_{п}$  потенциала в столбе разряда



$$E_n \approx \text{const} \cdot g_2^{\frac{1+U_i}{4+4U_a}} \cdot t^{\frac{3}{4}} \quad (4)$$

и выражению, связывающему этот градиент с током разряда

$$E_n \approx \text{const} \cdot \frac{g_2^m \cdot I^{k_0}}{R^{n_0} \cdot (1-C)^{n_0/6}}, \quad (5)$$

где  $g_2$  – масса газа в единице столба разряда,  $R$  – радиус канала разряда,  $U_i$  – потенциал ионизации,  $U_a$  – некоторый средний уровень возбуждения,  $I$  – ток разряда,  $m$ ,  $k_0$ ,  $n_0$  – некоторые числовые показатели, зависящие от значений  $U_i$  и  $U_a$ .

Из представленных выражений следовало, что величина градиента медленно меняется с изменением тока и существенно убывает с возрастанием радиуса канала разряда ( $n_0 = 1,6-1,8$ ;  $k_0 = 0,2-0,25$ ). Кроме того, эти выражения качественно (по порядку величины) согласуются с экспериментальными данными. Полученная взаимосвязь градиента напряженности электрического поля с током позволила объяснить характер квазистатических вольтамперных характеристик для мгновенных значений тока и напряжения.

*Анализ показал, что передача энергии электродам может осуществляться посредством следующих основных механизмов:*

- бомбардировкой заряженными частицами под действием поля;
- излучением столба разряда;
- газокинетической бомбардировкой частицами, находящимися в канале разряда;
- за счет обмена энергией между электродами под действием факелов паров;
- за счет объемного источника тепла, возникающего в зоне растекания тока от электродного пятна (джоулево тепло).

В связи с этим общее количество энергии, поступающей на анод, представляется формулой

$$W_a = W_a^e + W_a^h + W_a^t + W_a^{\phi} + W_a^o, \quad (6)$$

где  $W_a^e$  – доля энергии, перенесенной электрическим полем,  $W_a^h$  – энергия, передаваемая излучением,  $W_a^t$  – доля энергии, перенесенной за счет тепловой бомбардировки частью газа,

(4)  $W_a^\phi$  — энергия, передаваемая аноду катодным факелом,  
 $W_a^o$  — энергия, выделяемая за счет действия объемного источника тепла.

(5) Оценка порядка величины составляющих правой части этого выражения, выполненная БН с учетом экспериментальных данных, показала, что *основная часть энергии передается поверхности анода электронной бомбардировкой, то есть  $W_a \sim W_a^e$* . В тех случаях, когда материал катода имеет точку кипения, значительно превышающую эту характеристику материала анода, а также при коротких импульсах ( $\tau_n \sim 10^{-6}$  с) необходимо принимать во внимание энергию, перенесенную факелами, то есть  $W_a \approx W_a^c + W_a^\phi$ . Энергия, передаваемая катоду, представляется в виде

$$W_k = W_k^i + W_k^n + W_k^r + W_k^\phi + W_k^o \quad (7)$$

Выполненные оценки показали, что основная доля энергии, поступающей на катод, обеспечивается ионной бомбардировкой ( $W_k^i$ ). Учет составляющей  $W_k^\phi$  целесообразен в тех же случаях, которые описаны выше для анодной поверхности (рассматриваются факелы паров анода).

Часть энергии, поступающей на электроды, которая эффективно аккумулируется в поверхностных слоях электродов, с учетом вышесказанного представляется следующим образом

$$W_a^{\phi\phi} = W_a^c + \eta \cdot W_a^\phi \quad (8)$$

$$W_k^{\phi\phi} = W_k^i - W_k^c + \eta \cdot W_k^\phi, \quad (9)$$

где  $\eta$  — коэффициент (меньше 1), учитывающий взаимовлияние встречных факелов,  $W_k^e$  — доля энергии, уносимой электронами с катода.

(6) *Сделанный вывод о превалирующей роли энергии, переносимой заряженными частицами, с учетом оценки глубины проникновения этих частиц в поверхность электрода убедительно подтвердил тот факт, что при анализе тепловой задачи следует использовать плоский поверхностный источник тепла.*

## Тепловые процессы в поверхностных слоях электродов

Приступая к теоретическому анализу тепловых процессов, БН пришел к выводу о нецелесообразности постановки и решения общей трехмерной задачи о перемещении двух границ фазовых переходов (испарение и плавление) в полуограниченном пространстве из-за значительных технических трудностей, связанных с их решением. Им были выделены две частные, практически важные задачи и проведено их систематическое исследование и решение.

Прежде всего, предстояло решить задачу о температурном поле и получить инструментарий для получения, пусть приближенного, описания температурного поля вблизи поверхности электрода и его взаимосвязи с энергетическими характеристиками разряда.

Для решения этой задачи БН сформулировал и обосновал некоторые упрощающие допущения, и рассмотрел уравнение нестационарной теплопроводности в общем виде

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \cdot \nabla^2 T; \quad a = \frac{\lambda}{c \cdot \rho}, \quad (10)$$

где  $\nabla^2$  – оператор Лапласа,  $c$ ,  $\lambda$ ,  $\rho$  – соответственно, удельная теплоемкость, удельная теплопроводность и плотность материала электрода.

БН распространил известное решение уравнения нестационарной теплопроводности для мгновенного точечного источника на случай плоского источника, ограниченного кругом радиусом  $r_0$ , основываясь на обобщенном принципе суперпозиции. Учитывая характер решаемой задачи и принимая во внимание тот факт, что плотность потока мощности на поверхности  $q(r, t)$  может быть в данном случае представлена в виде  $q(r, t) = q_0(t) \cdot \exp(-k \cdot r^2)$ , была сформулирована краевая задача и получено решение уравнения теплопроводности в следующем виде

$$T(r, z, t) = \frac{8q_{эф}ak}{c\rho(4\pi a)^{3/2}} \left[ \int_0^t \frac{1}{\sqrt{t}(4akt + 1)} \exp Qdt - \int_0^{t-\tau_{и}} \frac{1}{\sqrt{t}(4akt + 1)} \exp Qdt \right]; \quad (11)$$

$$Q = - \left[ \frac{kr^2}{4akt + 1} + \frac{z^2}{4at} \right],$$

где  $k$  – коэффициент сосредоточенности источника,  $r$  – плоский радиус-вектор,  $z$  – координата, направленная в тело электрода по нормали к его поверхности,  $q_{эф}$  – эффективное значение  $q(t)$  за время  $\tau_{и}$ .

Имея описание температурного поля, можно оценить характерные размеры лунки путем расчета изотерм  $T(r, z, t) = T_{пл}$ , где  $T_{пл}$  – температура плавления.

Для вершины лунки глубиной  $h_{л}$  получаем  $T(0, h_{л}, \tau_{и}) = T_{пл}$ , а для радиуса лунки получаем  $T(r_{л}, 0, \tau_{и}) = T_{пл}$ .

Приравнявая левые части и используя уравнение (11) получим

$$\int_0^{\tau_{и}} \frac{1}{\sqrt{t(4akt+1)}} \exp\left(-\frac{k \cdot r^2}{4akt+1}\right) dt = \int_0^{\tau_{и}} \frac{1}{\sqrt{t(4akt+1)}} \exp\left(-\frac{h_{л}^2}{4at}\right) dt$$

После преобразований с учетом некоторых допущений получено выражение, описывающее взаимосвязь величин  $h_{л}$ ,  $r_{л}$ ,  $\tau_{и}$  в виде

$$k = \frac{h_{л}}{r_{л}^2 \sqrt{a\tau_{и}}}. \quad (12)$$

Показано, что при выполнении условия  $4akt_{и} \ll 1$  можно с достаточной точностью вычислять координаты изотерм плавления по оси лунки по выражению

$$T(z, t) = \frac{2q_{эф}k}{\pi c \rho} \cdot \int_0^{\tau_{и}} \frac{1}{\sqrt{4\pi at}} \exp\left(-\frac{z^2}{4at}\right) dt. \quad (13)$$

Используя понятие стока тепла ( $-q(r, t)$ ) и выражение (11), можно получить температурное поле в приповерхностном слое электрода после завершения импульса тока, характеризующее процесс его остывания.

Результаты расчета величин  $r_{л}$  и  $h_{л}$  в сопоставлении с экспериментальными данными сведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

## Расчетные и экспериментальные значения параметров лунки

Исходные данные			$r_n$ , мм		$h_n$ , мкм	
$W_n$ , Дж	$\tau_n$ , мкс	Материал	Расчет	Эксперимент	Расчет	Эксперимент
0,5	200	Медь	0,27	0,22	55	50
1	200		0,40	0,36	70	65
2	200		0,48	0,42	91	86
0,5	335	сталь 3	0,40	0,30	50	42
1	335		0,52	0,40	60	52
2	335		0,58	0,48	70	60

Как видно, несмотря на приближенный характер решения уравнения теплопроводности, расчетные и экспериментальные данные удовлетворительно согласуются. Представляя лунку в виде шарового сегмента, можно рассчитать ее объем и оценить единичный эрозионный эффект.

Из данных таблицы видно, что расчетные значения на 10–25% выше экспериментальных. Это вызвано тем, что задача решалась без учета скрытой теплоты плавления и зависимости теплофизических параметров от температуры. Более точные данные могут быть получены при решении задачи о перемещении границы фазового превращения (задача Стефана). БН сформулирована и решена такая задача применительно к физической модели формирования эрозионной лунки. Это позволило получить более точное решение задачи распределения температурного поля и зависимости глубины лунки, ее объема от интенсивности теплового источника и времени, дать обоснованное объяснение полученной S-образной зависимости скорости эрозии от величины энергии импульса. Полученные БН теоретические результаты позволяют не только описать и объяснить явления, наблюдаемые при эрозии, но могут успешно использоваться для расчета технологических параметров.

## Газо- и гидродинамические процессы в МЭП

Теоретическое исследование гидро- и газодинамических процессов в МЭП, проведенное БН, основывалось на экспериментальных результатах скоростной киносъемки, согласно которым в своем развитии газовая полость проходит три основания

фазы: формирования, расширения, охлаждения. Эксперименты показали, что эти процессы оказывают существенное влияние на развитие разряда и на процессы эрозии.

Поэтому БН, рассматривая как гидродинамический, так и связанный с массопереносом аспекты этого явления, сформулировал в общей постановке задачу о расширении и охлаждении газового пузыря для случая сферической симметрии:

– внутри жидкости по произвольному закону  $r = r(t)$  расширяется сфера. Требуется определить закон изменения давления  $p(t)$  на поверхности этой сферы и время  $\tau_p$  расширения данной сферы до некоторой величины  $R_{\max}$ ;

– внутри жидкости имеется шаровая полость с некоторым начальным радиусом  $R_{\max}$ , которая уменьшается по закону  $r = r^*(t)$ . Требуется определить время схлопывания пузыря,  $\tau_{cx}$ , при котором  $r = 0$ .

Совместное решение уравнения неразрывности и уравнения Эйлера для случая шаровой симметрии дает следующее уравнение для  $p(t)$  и  $\tau_p$

$$p(t) = p_0 + \frac{\rho}{2} \left[ 3 \left( \frac{dr}{dt} \right)^2 + 2r \frac{d^2r}{dt^2} \right]; \quad (14)$$

$$\tau_p = \tau_{cx} = \sqrt{\frac{3\rho}{2p_0} \int_0^{R_{\max}} \frac{R^{3/2} dr}{\sqrt{R_{\max} - R}}} \approx R_{\max} \sqrt{\frac{3\rho}{2p_0}}, \quad (15)$$

где  $p_0 = p(\infty)$ . Правомерность равенства  $\tau_p = \tau_{cx}$  основывается на результатах скоростной съемки. Отсюда время первой пульсации газового пузыря  $T_n = \tau_p + \tau_{cx} = 2\tau_p$ . Это позволяет оценить время паузы между импульсами исходя из условия релаксации свойств среды:  $\tau_n > 2\tau_p$ .

Воспользовавшись экспериментальной зависимостью  $r = r(t)$ , которая после аппроксимирования экспериментальных данных имеет вид

$$r(t) = R_{\max} \left[ \left( \frac{(t - \tau_p)^2}{\tau_p^2} - 1 \right) \right] \quad (16)$$

и уравнением (14) Борис Никифорович получил графическую зависимость  $p = p(t)$ , которая в общем случае имеет точку перегиба

и два экстремума  $p_{\max}$  и  $p_{\min}$ . Расчеты показывают, что  $p_{\max}$  лежит в диапазоне 1–10 МПа.

Минимум давления, значение которого ниже атмосферного, определяется по формуле (15). Для установления связи  $t_p^{\min}$  с энергией импульса БН воспользовался основными положениями теории точечного взрыва и получил выражение

$$\tau_p \cong \sqrt[3]{\frac{3k^*(W_n - W_{\text{нп}})}{4\pi p_0}} \cdot \sqrt{\frac{2\rho}{3p_0}}, \quad (17)$$

где  $k^*$  – коэффициент, отражающий долю энергии разряда, расходуемой на расширение газового пузыря;

$W_{\text{нп}}$  – часть энергии разряда, затрачиваемая на нагрев и плавление материала электродов.

Сопоставление расчетных и экспериментальных данных показало хорошее соответствие между ними (в пределах 15%). Вакуум, создающийся в пузыре к завершению процесса его сжатия, должен привести к вскипанию жидкой фазы и одновременному выбросу ее из лунки. Результаты скоростной киносъемки проведенной в видимом и рентгеновском диапазонах подтверждают полученный теоретический результат.

*Полученные БН данные соответствуют случаю нестесненного расширения пузыря (сферическая симметрия), однако, эксперимент показал, что качественно идентичная картина наблюдается при расширении пузыря в узком щелевом канале. Результаты исследования динамики газового пузыря в МЭП имеют важное практическое значения, потому, что процесс расширения пузыря лежит в основе весьма важной стадии – естественной эвакуации продуктов эрозии из МЭП.*

### Термомеханические процессы в поверхностных слоях электродов

Термомеханические процессы в поверхностных слоях электродов приводят, как следует из имеющихся экспериментальных данных, к проявлению дефектных поверхностных слоев, существенно влияющих на эксплуатационные характеристики изделий. Поэтому теоретическое описание формирования таких слоев, взаимосвязи их свойств с параметрами режима обработки представляло не только теоретический, но и практический интерес.

БН исходил из того, что при ЭЗО металл подвергается серии локальных термоударов, при которых скорость нарастания и снижения (при охлаждении) температуры имеет порядок  $10^6$ - $10^8$  град/с. Вследствие этого от нагретой поверхности формируется и распространяется внутрь тела продольная упругая волна термонапряжений. При попадании фронта волны в заданную точку величина местных остаточных напряжений алгебраически суммируется с мгновенным значением термоупругого напряжения и суммарное напряжение может существенно возрасти. Если суммарные локальные напряжения превосходят предел текучести в рассматриваемой области развиваются пластические деформации, а превышение ими предела прочности приводит к появлению и развитию микротрещин. Для описания этого явления Б.Н. рассмотрел известные задачи теории термоупругости применительно к условиям, характерным для ЭЗО.

В сферических координатах им рассмотрено основное уравнение для нахождения термоупругого потенциала перемещений  $\Phi$  в виде

$$\nabla^2 \Phi - \frac{1}{c^2} \cdot \frac{\partial^2 \Phi}{\partial t^2} = a_p \left( \frac{1 + \mu}{1 - \mu} \right) T(r, \varphi, \theta, t), \quad (18)$$

где  $T$  – функция, описывающая температурное поле,  $c$  – скорость распространения продольных волн в упругой среде,  $\mu$  – коэффициент Пуассона;  $a_p$  – коэффициент термического расширения материала,  $q_0$  – тепловой поток от границы плавления внутрь тела.

Термоупругий потенциал перемещений  $\Phi$  связан определенным соотношением с компонентами тензора напряжений. В квазистационарном случае, когда можно принять  $\partial^2 \Phi / \partial t^2 = 0$ , эти соотношения имеют вид

$$\sigma_{rr}(r, t) = -\frac{4G}{r} \cdot \frac{\partial \Phi}{\partial r}; \quad \sigma_{\varphi\varphi} = \sigma_{\theta\theta}(r, t) = -2G \cdot \left( \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial \Phi}{\partial r} - \nabla^2 \Phi \right), \quad (19)$$

где  $G$  – модуль сдвига.

Значения глубины зоны возникновения упругих напряжений, зоны пластической деформации, зоны возникновения микротрещин находились путем сравнения величины



$\sigma = \frac{1}{3} \sqrt{\sigma_{rr}^2 + \sigma_{\theta\theta}^2 + \zeta_{\varphi\varphi}^2}$  со значениями соответственно предела текучести,  $\sigma_T$  и предела прочности,  $\sigma_B$ .

Решение получено для следующих краевых условий:

1.  $T(r, 0) = 0; \Phi(r, 0) = 0$  при  $r > h_L$ ,  $\sigma_{rr} + \sigma_{\varphi\varphi} + \sigma_{\theta\theta} = 0$  при  $t = 0$ .
2.  $T(\infty, t) = 0; \Phi(\infty, t) = 0$  при  $r \rightarrow \infty$ ,  $\sigma_{rr} + \sigma_{\varphi\varphi} + \sigma_{\theta\theta} = 0$ . (20)
3.  $T(r, \infty) = 0; \Phi(r, \infty) = 0$  при  $t \rightarrow \infty$ ,  $\sigma_{rr} + \sigma_{\varphi\varphi} + \sigma_{\theta\theta} = 0$  при  $r \geq h_L$ .

Для расчета величин  $\sigma_{rr}$ ,  $\sigma_{\varphi\varphi}$  и  $\sigma_{\theta\theta}$  получены следующие выражения:

$$\sigma_{rr} = -A \left[ 1 - \left(1 - \frac{2}{\tau_0^2}\right) \cdot \operatorname{erf}\left(\frac{\tau_0}{2}\right) - \frac{1}{\sqrt{\pi}} (\tau_0^2 + \tau_0 + 2) \cdot \exp\left(-\frac{\tau_0^2}{4}\right) \right];$$

$$\sigma_{\varphi\varphi} = \sigma_{\theta\theta} = -\frac{A}{2} \left[ 1 - \left(1 - \frac{2}{\tau_0^2}\right) \cdot \operatorname{erf}\left(\frac{\tau_0}{2}\right) - \frac{1}{\sqrt{\pi}} (\tau_0^2 + \tau_0 + 2)(\tau_0^2 - 2) \cdot \exp\left(-\frac{\tau_0^2}{4}\right) \right]; \quad (21)$$

$$A = \frac{(1-\mu)a_r g_{\text{эф}} G}{(1+\mu)2\pi\lambda r}; \tau_0 = \frac{r}{\sqrt{at}} - \text{безразмерная величина.}$$

Полученное приближенное решение задачи о термических напряжениях позволило БН проанализировать зависимости безразмерных напряжений от времени и координаты и сделать ряд качественных выводов:

1. Величина указанных напряжений возрастает с энергией импульса и, в первом приближении, пропорциональна коэффициенту термического расширения материала и модулю сдвига.

2. Максимум напряжений запаздывает во времени относительного импульса тока и достигается на некоторой глубине поверхностного слоя. Напряжения  $\sigma_{\varphi\varphi}$ ,  $\sigma_{\theta\theta}$  при определенных условиях становятся растягивающими, что может привести к пластической деформации, появлению микротрещин и хрупкому раз-

рушению некоторых материалов. Это означает также, что микро-трещины, как и наблюдается на опыте, могут генерироваться некотором расстоянии от обработанной поверхности.

Таким образом, в результате проведенных исследований Борис Никифорович Золотых сформулировал феноменологическую модель процесса электрической эрозии, в рамках которой выявил и выделил различные механизмы разрушения и отделения частиц металла, приводящие к появлению эрозионной лунки:

– механизм перманентного выброса паров металла в виде факелов в течение длительности импульса тока;

– механизм единовременного выброса паров и капель металла при резком снижении давления (ниже атмосферного) и температуры кипения по завершении импульса тока и схлопывании газового пузыря;

– механизм выброса жидкого расплава в результате гидромеханического воздействия паровых факелов на поверхность расплава;

– механизм выброса паров и расплава в результате действия пондеромоторных сил в течение заднего фронта импульса тока;

– механизм отделения и выброса частиц металла в твердой фазе при обработке материалов с пониженными пластическими свойствами.

Количественные и качественные закономерности, выявленные БН в процессе исследования единичного электроэрозионного акта, позволили ему обоснованно подойти к аналитическому описанию основных процессов, протекающих в МЭП при электрической эрозии материалов, выявить их взаимосвязи с параметрами электрических импульсов, такими как  $W_w$ ,  $\tau_w$ ,  $f$ .

Вместе с тем, практическое применение размерной электроэрозионной обработки требует инженерных методик расчета. Они должны содержать по возможности простые расчетные выражения, справочные таблицы или графики, которые в своей совокупности позволяют в определенной последовательности решать прямую или обратную задачу технологического проектирования.

Борис Никифорович уделял значительное внимание разработке инженерных методик проектирования операций ЭЭО. Им решен целый ряд задач, направленных на получение расчетных

выражений, связывающих конечные технологические характеристики процесса ЭЭО с параметрами режима отработки. К числу таких задач относятся следующие:

- обоснование общего подхода к выбору паузы между импульсами и частоты следования импульсов;
- получение расчетных выражений для оценки шероховатости;
- расчет производительности ЭЭО;
- расчет оптимальной деятельности импульса;
- определение величины зоны структурных превращений и дефектов поверхностного слоя;
- расчет параметров циркуляции жидкостей в МЭП;
- обоснование малоизносных режимов отработки;
- обоснование предельных значений  $W_{и}$  и  $\tau_{и}$ , разработка требований к источникам питания для ЭЭО.

Как видно, перечень решенных задач охватывает большинство вопросов технологического проектирования и позволяет обоснованно решать практически важные технологические задачи.

### 2.3.3. Технологические рекомендации и разработки

#### Оценка производительности ЭЭО

Такая оценка необходима, как для расчета технико-экономических показателей операции ЭЭО, так и при анализе конкурентоспособности этого метода обработки. При обсуждении этого вопроса БН сформулировал **принцип аддитивности**, который носит достаточно общий характер и заключается в том, что при импульсной обработке последовательностью импульсов протекание  $i$ -го разрядного импульса не должно сказываться на условиях протекания  $(i+1)$ -го импульса. Иными словами, за время паузы между импульсами рассматриваемая система должна вернуться к своему исходному состоянию.

В этом случае объем материала, удаляемого с заготовки в единицу времени, можно представить в виде суммы объемов эрозийных лунок,  $v_{лн}$ , образовавшихся при пропускании импульсов в единицу времени, то есть,

$$Q = \sum_{i=1}^f v_{ли} = v_{ли} f; \quad (22)$$

В общем случае условие аддитивности не выполняется, поскольку, по ряду причин, часть импульсов напряжения оказываются не эффективными, то есть, не приводят к образованию лунок либо полученные лунки значительно меньше по объему. Это импульсы холостого хода, короткого замыкания, импульсы, при наложении которых разряд осуществляется между электродами и газовыми или металлическими продуктами эрозии. Поэтому, выражение для расчета объемной скорости эрозии с учетом (2) записывается, как

$$Q = k_{п} k_{эф} W_{и} f, \quad (23)$$

где  $k_{эф}$  – коэффициент эффективности, учитывающий относительную долю рабочих импульсов в общем числе пропущенных импульсов. Коэффициент  $k_{п}$  зависит от условий протекания процесса эрозии и может быть представлен в виде

$$k_{п} = k_{мз} k_{ми} k_{рж} k_{пп} k_{пр}, \quad (24)$$

где коэффициенты-сомножители правой части выражения отражают влияние соответственно материала электрода-заготовки, материала электрода-инструмента, свойств рабочей жидкости, полярности подключения электродов, параметров режима.

*БН подробно рассмотрел влияние указанных факторов на объем единичной лунки и обосновал правомерность использования выражения (23) для оценки производительности ЭЭО.*

*При анализе влияния параметров режима на производительность обработки БН обратил особое внимание на выбор частотных характеристик процесса эрозии, в частности, длительности импульса,  $\tau_{и}$  и длительности паузы,  $\tau_{п}$ . Заметим, попутно, что практически используют пять таких параметров (длительность импульса, длительность паузы, период и частота следования импульсов, скважность), но только два из этих параметров являются независимыми величинами, а остальные – производными.*

Так, экспериментально установлено, что зависимость величины эрозии от длительности импульса при постоянном значении  $W_{\text{и}}$  имеет параболический характер с максимумом при некотором значении  $\tau_{\text{и}}^*$ . Очевидно, *расчет оптимальной величины длительности импульса*  $\tau_{\text{и}}^*$  представляет собой практически важную задачу. Эта задача была решена БН на основе использования решения задачи Стефана для подвижной межфазной границы, в результате чего получено расчетное выражение, справедливое в том случае, когда доля материала, выброшенного из лунки в результате парообразования пренебрежимо мала

$$\tau_{\text{и}}^* = \frac{4}{\pi} \frac{\left[ k_{\text{м}} \cdot c \cdot \rho \cdot T_{\text{пл}} \left( 1 + \frac{q_{\text{пл}}}{c \cdot T_{\text{пл}}} \right) \right]^2}{\beta_0^2} \cdot W_{\text{и}}^{2/3} \quad (25)$$

где  $k_{\text{м}}$  – коэффициент, зависящий от материала электрода и геометрии лунки,  $\beta_0$  – некоторый коэффициент, зависящий от материала электрода.

Это выражение удовлетворительно согласуется с экспериментом в диапазоне энергии импульса  $10^{-5}$ – $10^{-2}$  Дж, в тех случаях, когда выброс материала из лунки, осуществляется, преимущественно, в виде жидкой фазы (расплава).

*При поиске выражения, рекомендуемого длительность паузы,  $\tau_{\text{п}}$  между импульсами БН исходил из принципа аддитивности процесса ЭХО, который предполагает отсутствие влияние предистории системы на протекание разряда и эрозионный эффект в каждом импульсе.* Анализ физической и технологической моделей процесса ЭХО позволили представить условия выбора паузы между импульсами в виде совокупности неравенств:  $\tau_{\text{п}} > t_{\text{зад}}$  и  $\tau_{\text{п}} > t_{\text{гп}}$ , где  $t_{\text{зад}}$  – время задержки момента завершения выброса металла из лунки по отношению к окончанию импульса тока,  $t_{\text{гп}}$  – время существования газового пузыря в МЭП.

Экспериментальные данные и теоретические оценки показали, что  $t_{\text{гп}} \approx 2 t_{\text{зад}}$ , поэтому второе неравенство является определяющим. Это неравенство справедливо в том случае, когда площадь, перекрываемая газовым пузырем, больше или равна обрабатываемой площади. В реальных условиях площадь обработки, как правило, меньше и лишь часть ее перекрывается газом.

В этом случае обработка осуществляется в некотором квазистационарном состоянии, при котором количество газа, генерируемого в МЭП, равно количеству газа эвакуируемого из него. Этот подход позволил получить следующее расчетное выражение для времени паузы

$$\tau_{\text{п}} \geq 2 \cdot \frac{(s-1)}{s(m-K)} \cdot \tau_{\text{зац}} \quad (26)$$

где  $s$  – скважность импульсов,  $K$  – количество газовых пузырей, присутствующих в МЭП,  $m$  – предельное количество таких пузырей, равное отношению площади электрода к площади, занимаемой газовым пузырем.

Из выражения (26) следует, что при определенных значениях параметров  $s$ ,  $m$ ,  $K$  критическое значение паузы может быть достаточно малым. Интенсификация эвакуации газовых включений за счет гидродинамики приводит к возрастанию величины  $(m-K)$  и допустимой частоты следования импульсов, а, следовательно, производительности.

### Оценка свойств поверхностного слоя

Такая оценка осуществлялась с учетом формирования в этом слое интенсивных температурных полей и миграции поверхностного точечного теплового источника по обрабатываемой поверхности при наложении серии разрядных импульсов.

Для определения глубины  $h_{\text{T}}$  зоны термического влияния рекомендована формула, полученная из решения задачи Стефана

$$h_{\text{T}} = 2\sqrt{\pi \cdot a \cdot \tau_{\text{п}}}, \quad (27)$$

где  $a$  – коэффициент температуропроводности.

Глубина дефектного слоя,  $h_{\text{д}}$  определяется из условия, согласно которому на указанной глубине величина упругих термических напряжений равна  $0,1\sigma_{\text{T}}$ .

$$h_{\text{д}} = 4 \cdot \sqrt{a \cdot t_{\text{в}}} \quad (28)$$

где  $t_{\text{в}} = (3-4) \cdot \tau_{\text{п}}$ .

Таким образом,  $h_{\text{д}} = 2h_{\text{T}}$

Учитывая микрогеометрический фактор, получаем окончательно

$$h_r = 2\sqrt{\pi \cdot a \cdot \tau_n} - R_z \text{ и } h_d = 4\sqrt{\pi \cdot a \cdot \tau_n} - R_z \quad (29)$$

В основе расчетных методов определения шероховатости поверхности лежит физическая модель, согласно которой микрогеометрия поверхности при ЭЗО формируется поверхностями взаимно перекрывающихся шаровых сегментов. Анализируя схему перекрытия лунок в трехмерном изображении, БН получил следующие выражения для оценки шероховатости

$$R_z = \frac{\beta^2}{3} \cdot \frac{r_n^2 \cdot h_n}{r_n^2 + h_n^2} + \Delta R_z^n \text{ при } 1 \leq \beta \leq 1,5, \quad (30)$$

где  $\beta$  — означает степень сдвига производящих сфер двух соседних лунок,  $\Delta R_z^n$  — высота наплыва по краям лунки (учитывается при грубых режимах обработки).

Оценивая объем шарового сегмента и вводя ряд упрощений, получаем формулу, связывающую шероховатость поверхности с энергией импульса.

$$R_z = \frac{\beta^2}{3} \cdot k_2 \cdot \sqrt[3]{W_n} \quad (31)$$

где  $k_2$  — числовой коэффициент, рассчитываемый по определенным правилам, величина которого лежит в пределах  $(1,5 \dots 3)10^{-3}$  для твердых сплавов и  $(12 \dots 15)10^{-3}$  для сплавов алюминия.  $[k_4] = \text{см} \cdot \text{Дж}^{-1/3}$ .

Многочисленные экспериментальные данные подтвердили возможность использования приведенных выше выражений для оценки шероховатости поверхности и показали хорошие соответствия экспериментальных и расчетных данных.

### Проблема износа инструмента при ЭЗО

Проблема износа инструмента при ЭЗО является одной из основных, поскольку она непосредственно связана с достижением заданной точности формообразования. БН уделял значительное внимание этой проблеме в своих работах. Им сформулированы основные требования к материалу электрода, выполнен ана-

лиз задачи теплопроводности в системе двух тел, обладающих разными теплофизическими свойствами. Это послужило теоретическим обоснованием применения электродов-инструментов, покрытых защитными пленками-экранами. БН обобщил и подробно рассмотрел возможные пути получения самовосстанавливающихся защитных пленок на электроде-инструменте в развитие идеи самовосстановления свойств пленки, выдвинутой И.Г. Некрашевичем и И.А. Бакуто.

Выделена и отмечена возможность генерирования защитных пленок путем факельного переноса паров обрабатываемого материала на электрод-инструмент с образованием на его поверхности интерметаллидов с высокой температурой плавления. Предложен и апробирован принцип создания электродного материала, состоящего из тугоплавкой матрицы-каркаса, капиллярные поры в котором заполнены относительно легкоплавким материалом с высокой температурой испарения.

Важным результатом, вытекающим из работ БН и основанном на глубокой теоретической проработке вопроса, явилось формулирование четких требований к источникам питания для ЭЭО. Эти требования использовались и используются при проектировании источников питания к электроэрозионным станкам.

### **Разработка общей методики проектирования операций ЭЭО**

Основываясь на вышеприведенных расчетных выражениях, БН разработал общую методику технологического проектирования операции ЭЭО, которая включает в себя следующие процедуры.

1. Уточнение исходных данных к проектированию. Анализ обрабатываемого элемента изделия на технологичность с учетом специфики ЭЭО и выбор схемы обработки.

2. В соответствии с требованиями чертежа определяют величину рабочего МЭП по рекомендуемому выражению  $\ell_p = (10-15) \cdot Rz$  и находят величину напряжения холостого хода,  $U_{xx}$ . Параллельно устанавливают характер удаления материала из лунки, исходя из требования к погрешности получаемого размера,  $\Delta L$ :

- при  $\Delta L \leq 2 \text{ мкм}$  - по механизму испарения,
- при  $\Delta L \geq 6-10 \text{ мкм}$  - по механизму плавления.



В соответствии со сделанным выбором рассчитывают величину  $W_{и}$ .

3. Уточняют теплофизические характеристики материала:  $\lambda$ ,  $c$ ,  $\rho$ ,  $T_{пл}$ ,  $T_{ис}$ ,  $q_{пл}$ ,  $q_{ис}$ .

4. С учетом характера удаления материала рассчитывают длительность импульса  $\tau_{и}$ . После этого рассчитывают величины  $h_{т}$  и  $h_{д}$ . Если необходимо, производят корректирование значений  $W_{и}$  и  $\tau_{и}$ .

5. Из условия соблюдения принципа аддитивности с учетом геометрических характеристик изделия и схемы обработки определяются параметры прокачки рабочей среды  $\Delta p$  и  $Q$  или глубину самопроизвольной эвакуации продуктов эрозии при степени загрязнения рабочей жидкости не выше 2–3 мас. %.

6. Рассчитывается  $f_{пр}$  для определенных ранее  $W_{и}$  и  $\tau_{и}$  и заданных геометрических характеристик изделия. Принимается ближайшая меньшая частота следования импульсов в соответствии с возможностями используемого источника питания.

7. Если выбор энергии импульса осуществляют из условия требуемой производительности, то рассчитывают величину  $Rz$  и сравнивают с требованиями чертежа. Если выбор энергии импульса осуществляют по условию достижения заданной шероховатости, то рассчитывают фактическую производительность. В обоих случаях возможна корректировка выбранных параметров по итерационной процедуре.

8. Выбирается оборудование, оснастка, проектируется инструмент и заполняется операционной карты ЭЭО.

Значительное внимание БН уделяет вопросам автоматизированного проектирования. Для создания автоматизированной системы технологической подготовки производства в области электроэрозионной обработки им были использованы идеи Н.Г. Бруевича и Б.Е. Челищева по построению аксиоматической модели автоматизированного проектирования. Для этого БН с сотрудниками разработали параметрическое описание процесса формообразования при ЭЭО, в результате чего поставлены и решены три основополагающие задачи:

- выполнена формализация технических знаний;
- построена математическая модель процесса проектирования технологии;

– построена методика автоматизированного проектирования.

На первом этапе был создан формальный алфавит технологии, введены математические объекты – предметы и отношения. Далее разрабатывалась математическая интерпретация технологических знаний в виде сетевой и логической моделей. Сетевая модель отражает отношения, образующие информационную структуру задач проектирования ТП. В логической модели используется аппарат исчисления предикатов для описания основных технологических закономерностей и утверждений.

На втором этапе разрабатывалась математическая модель проектирования технологий с целью выявления состава проектных решений, определения последовательности и основных функций их порождения.

Методика автоматизированного проектирования отражает непосредственную технологическую направленность данной САПР.

Описанная САПР нашла применение для проектирования ТП ЭЭО и апробирована на участке ЭЭО, содержащем 14 единиц оборудования. БН считал, что подобные САПР, отличающиеся многофункциональностью, универсальностью, открытостью, найдут применение в проектировании технологий, основанных на физико-химических методах обработки. Однако, по его мнению, применение и развитие подобных систем сдерживается отсутствием или недостаточности новой технологической информации о процессах ФХОМ для создания соответствующих банков данных и информационных модулей на их основе.

*Отличительной особенностью научной деятельности БН является широкий диапазон проведенных им исследовательских работ. Наряду с разработкой частных экспериментальных методик, проведением соответствующих опытных работ и решением конкретных аналитических задач, БН в своих работах демонстрировал системный подход к анализу проблемы. Он проводил глубокие обобщения и выдвигал на первый план основополагающие, базовые закономерности процесса электрической эрозии материалов.*

*Обладая огромным опытом, постоянно отслеживая все новое, передовое в теории и практике ЭЭО, БН уделял внимание прогнозированию, выявлению перспективных направлений работ*

2.4

в области электрической эрозии материалов. По его мнению, к таким направлениям относятся, прежде всего, следующее:

– область целесообразного применения ЭЭО – прецизионная обработка тугоплавких, жаропрочных, сверхтвердых материалов – будет постоянно расширяться. Заметна тенденция к применению ЭЭО в технологиях размерной обработки изделий из керамики;

– останутся актуальными исследования и разработки по совершенствованию технологических характеристик ЭЭО: повышение производительности, точности, показателей качества поверхностного слоя изделий;

– наиболее многообещающими являются исследования в области ЭЭО короткими импульсами (менее  $10^{-6}$  с). Это позволит обрабатывать изделия с минимальной толщиной дефектного поверхностного слоя при одновременном повышении производительности за счет использования эффекта хрупкого разрушения поверхности;

– важнейшей проблемой остается снижение износа инструмента при ЭХО, а перспективным направлением ее решения – создание поверхностных защитных слоев интерметаллидов, способных самовосстанавливаться в процессе эрозии;

– многообещающими являются исследования по влиянию формы импульса тока на основные технологические характеристики ЭЭО.

Еще раз подчеркнем, что Борис Никифорович постоянно подчеркивал необходимость всемерного расширения и углубления теоретических знаний о процессе электрической эрозии, дальнейшей разработки технологических основ этого метода, без которого в настоящее время трудно представить себе эффективное современное производство, выпускающего наукоемкую продукцию.

Он осуществлял плодотворную педагогическую деятельность, читал лекции, работал с дипломниками и аспирантами на кафедре технологии систем электроники Московского государственного университета электроники и математики, являлся членом редколлегии журнала «Электронная обработка материалов», принимал участие в работе Международных симпозиумов по электрообработке.

Основные работы профессора Золотых БН опубликованы в [45,56, 68–86].

## 2.4. Фёдор Владимирович Седыкин – инженер, ученый и общественный деятель



**Фёдор Владимирович  
СЕДЫКИН  
(1927–1982)**

Седыкин Фёдор Владимирович – выдающийся русский ученый, с именем которого связано целое направление в технике использования электрохимических процессов при обработке деталей машин и механизмов. Создатель высокоэффективных технологий производства стрелково-пушечных систем, разработчик базовых теоретических принципов технологии электрохимического формообразования. Педагог и просветитель, организатор научной школы, член ряда государственных научно-технических советов и комиссий, член редколлегии журнала «Электрофизические и электрохимические методы обработки».

Автор 150 научных работ, в том числе 8 монографий и 4 учебников, ряда изобретений. Доктор технических наук, профессор, заслуженный работник науки и техники Российской Федерации, лауреат Мосинской и Государственной премии Союза ССР. За заслуги перед отечеством награжден орденами Октябрьской Революции, Трудового Красного Знамени, «Знак Почета» и многими медалями.

*«Сейчас недостаточно хорошо читать лекции, хотя это является одним из важнейших элементов успеха. Научить учиться – одна из главнейших задач вузовских педагогов. Научить студента культуре труда, выработать у него потребность в настоящей интеллектуальной работе, быть в хорошем, нравственном, смысле слова «вечным студентом» – вот одна из фундаментальных целей высшего образования».*

Эту запись в своем рабочем блокноте Фёдор Владимирович сделал где-то в восьмидесятом году. Как гармонично он пере-

кликается здесь с выдающимся русским мыслителем, философом и историком Иваном Александровичем Ильиным (1883-1954 гг.), который тоже видел недостатки нашего образования в подавлении самостоятельного мышления у молодежи и, как следствие, в отсутствии у нее научной культуры. По мнению философа, научная культура состоит в самостоятельности мышления, предметном опыте и твердом знании своих пределов, в ответственной осторожности человека, в скромности его суждений.

Научить учиться, быть в хорошем, нравственном, смысле слова «вечным студентом» в своей профессии... Постоянное, непрерывное обновление и пополнение знаний, постоянное движение в познании вперед – без этого нет настоящего ученого, нет и настоящего результата его деятельности. Два великих человека сходятся в едином подходе к образованию – это уже идеология, это уже школа, суть которой – быть «вечным студентом» в своей профессии. Думается, что Фёдор Владимирович имел в виду не только профессиональную сторону бытия, а в целом – жизнь, «вечный студент» по жизни – об этом свидетельствуют знавшие его люди и материалы о нем.

«Мы прошли школу Седыкина», – говорят сегодня многочисленные ученики Фёдора Владимировича, маститые, сами имеющие учеников, но по-прежнему неопенимо, искренне благодарные Учителю и судьбе, которая свела с ним. Он имел право учить, и сам тоже учился всю свою, к глубочайшему сожалению, не столь долгую жизнь. О школе Седыкина говорят все, кто жил рядом с этим удивительным человеком.

Туляки – люди умелые и сведущие в металлическом деле. Недаром на гербе города – молот и наковальня. Это про них: «Как только родился, так сразу за молот схватился». В 1595 году по указу государя Фёдора Иоанновича для обеспечения «служилых людей» оружием, за рекой Упой поселили тридцать кузнецов, обязав их делать «государево самопальное дело». Со временем «самопальное дело» расширилось. В конце XVII века появились «железные заводы» кузнеца Никиты Демидова, Баташевых, Мосоловых. 15.02.1712 года уже другой государь – Петр Алексеевич, подписал указ, в котором, в частности, говорилось: «...для лучшего в том оружейном деле способу при той оружейной слободе, изыскав удобное место, построить заводы, где можно бы

ружья, фузеи, пистолеты сверлить и оттачивать, а палаши и ножи точить водой».

Как тут не вспомнить добрым словом замечательного русского писателя Николая Семеновича Лескова!.. Это же его тульский оружейник левша «аглицкую» блоху подковал. Это легенда, хотя и умная, нужная всякому русскому, но легенда. А вот освоение атома, прорыв человека в космос, компьютерная революция, торсионные технологии и многое другое – это уже не легенда, это явь. Тут знания, труд и талант нужны побольше, чем у левши. Такие мастера и в Туле, и в России были, есть и будут.

Только масштабы их разумения неизмеримо расширились – нужно быть Левшой и в науке, и в обучении, и в организации дела – время такое, умельцам дорога. Так разве не Левша тульский оружейник Фёдор Седыкин, который обладал многогранным талантом. Лесковский левша дула ружей кирпичом чистил, а Федр Владимирович электрохимией канал ствола до идеального состояния довел.

Был Федр Владимирович Левшой не только в науке, а и в организации научной деятельности, и в просветительстве, и в государственном деле. Много на русской земле Великих умельцев. Все они продолжатели левши, его последователи и соплеменники Великого племени русских мастеров, но значительно превзошедшие своего легендарного предка в умении и образованности.

Испокон веков на русской земле рождаются мысли и идеи беспредельные, которые потом, как волны от брошенного в воду камня, расходятся по всему миру. Так было всегда, так будет и дальше, потому, что именно в сохранении планетарного разума и одухотворения всего мира заключается общечеловеческая роль России.

Именно отсюда, из России, история методично «выдавливала» лучшие умы и таланты, оплодотворяя ими человечество. Даже изгнанные или вынужденные бежать из-за невозможности реализовать свой дар, русские таланты всегда демонстрировали миру непревзойденные образцы творчества и «вытягивали» его на свой уровень во всех областях: в искусстве, философии, науке. «Заглянем ли в списки профессоров европейских университетов – писал Николай Константинович Рерих, – рассмотрим ли списки разнообразных деятелей инженерного дела, пройдемся ли по банкам, фабрикам, оглянемся ли на ряды адвокатуры – всюду Вы

увидите русские имена. Среди ученых иностранных трудов в каталогах Вы будете поражены количеством трудов русских».

Родоначальник американской авиации – русский, Игорь Сикорский. Первые телевизоры обязаны появлением русским изобретателям Владимиру Зворыкину и Борису Розингу, а первые профессиональные магнитофоны и видеомангнитофоны – русскому эмигранту, Александру Понятову. Не многие знают, что и идея компьютеров, которые уже совершили научно-техническую революцию в мире, тоже принадлежит русскому – Арсению Горохову. Самая выгодная трасса полета на Луну была рассчитана русским – Юрием Кондратьюком еще в 20-е годы, а в 80-е ею успешно пользовались американские астронавты. Как, впрочем, всегда пользовался Запад и другими великими идеями, которые генерировала Россия.

Электрофизические и электрохимические технологии обработки материалов – русские идеи, наши изобретения. Владимир Николаевич Гусев, Борис Романович Лазаренко, Борис Никифорович Золотых, Фёдор Владимирович Седыкин, Юрий Николаевич Петров, Михаил Венедиктович Щербак – во всех, сколь-нибудь значимых машиностроительных странах эти имена широко известны, а их идеи успешно эксплуатируются.

Талантливый ученый, прекрасный педагог, личность незаурядная, обладающая энциклопедическими знаниями и острым умом, удивительным обаянием и добрым отношением к людям. Личность безмерно преданная делу, потому бескомпромиссная, принципиальная и требовательная, в том числе и к себе, – Фёдор Владимирович Седыкин родился 8 июня 1927 года в деревне Желтиково, Суворовского района Тульской области в семье колхозного кузнеца Владимира Ефимовича и колхозницы Дарьи Михайловны Седыкиных.

1927-й – это было энергичное, активное время, время неистовых тружеников и созидателей, время первых ударных пятилеток. Важнейшая задача государства – экономическое развитие, превращение страны из аграрной в индустриальную, из страны, ввозящей машины и оборудование, в страну их производящую.

Обеспечение экономической независимости и укрепление обороноспособности. Главное внимание – реконструкции старых промышленных предприятий. Одновременно строят более 500

новых заводов, началось сооружение Турксиба и Днепрогэса. Развитие и расширение промышленного производства почти на 40% ведется за счет ресурсов самих предприятий и, в первую очередь, за счет резкого повышения производительности труда на основе небывалого трудового энтузиазма людей.

В Москве, Сталинграде, Магнитогорске, Кузнецке, Ростове-на-Дону и других городах проектировались крупнейшие предприятия тракторной и автомобильной промышленности, металлургии, приборостроения. Идет дальнейшее развитие Тулы: появляются новые жилые дома, школы, больницы, вводятся железнодорожная поликлиника, хирургический корпус больницы им. Н.В. Семашко, пущен первый трамвай, связывающий вокзал с центром города. В стране принимается закон, предусматривающий введение всеобщего начального образования и расширение сети школ, проведение реформирования высшего образования. Восстанавливается научный потенциал. Открываются новые научно-исследовательские учреждения – Физико-химический, Физико-технологический, Центральный аэрогидродинамический институты и другие. Возрождается культурная жизнь Союза.

С первым вздохом только что родившийся Федя Седыкин выбрал в себя эту жизненную энергию, пропитанную вдохновенным трудом, радостью созидания и высочайшей гражданственностью. Он зарядился ею на всю свою жизнь, и потом всю свою жизнь отдавал ее людям, пока не отдал всего себя без остатка.

Близкие рассказывают, что у Фёдора Владимировича, особенно в молодые годы, нет ни одной «нормальной» фотографии: везде он куда-то лезет, откуда-то выглядывает, что-то делает. Здесь, наверное, будет уместно привести воспоминания одного из учеников Седыкина Б.Н. Лукичева:

– Как-то Федр Владимирович отправляет двух моих сотрудников в Ленинград на учебу, а меня, как ведущего темы, оставляет. А так хотелось поехать в город на Неве. Честно говоря, никогда там не был. Быстренько закончил работу: сидел, как говорится, и денно и ночью. В общем, закрыл тему и к Седыкину: мол, ребята уехали учиться в Специальное проектно-конструкторское технологическое бюро электрообработки, вот бы, дескать, и мне подучиться? «Не чему тебе там учиться», – успокаивает Федр Владимирович. Потом слегка задумался и вдруг спросил: «а ты в Ленинграде-то был ко-



гда-нибудь?» Я честно признался, что не был. Чего греха таить: больше хотелось город Петра посмотреть, побродить по его историческим местам. Седыкин, конечно же, раскусил мою затею с учебой, только и сказал: «Иди, оформляй командировку...»

В 1927-м людям казалось, что все войны для многострадальной России навсегда ушли в прошлое, можно спокойно трудиться, учиться, читать книги и ходить в театры, рожать детей, словом, жить. Но в полдень, 22 июня 1941 год над всей страной, как набат, понеслось: «Сегодня в 4 часа утра без предъявления каких-либо претензий к Советскому Союзу, без объявления войны германские войска напали на нашу страну, атаковали наши границы во многих местах и подвергли бомбежке со своих самолетов наши города... Правительство призывает вас, граждане и гражданки Советского Союза, еще теснее сплотить свои ряды вокруг нашей славной большевистской партии, вокруг нашего Советского правительства... Наше дело правое. Враг будет разбит! Победа будет за нами!»

Как всегда на Руси в годы смертельной опасности поднялась вся страна. И стар, и млад. Поднялись туляки. Встали в едином строю снова, как уже бывало ни раз, заслоня собой родную столицу. Феде Седыкину только-только стукнуло четырнадцать. Может быть, тогда впервые сформировались и окрепли лучшие черты его характера.

Выстояла Тула. В далеком сорок первом вынужден был гитлеровский генерал Гудериан обойти Тулу стороной. Не помогла ему сломить сопротивление защитников города ни железная армада второй танковой армии, ни десятки тысяч солдат, нашедших последний свой приют на подступах к городу.

Окончив в 1944 году с золотой медалью среднюю школу, Фёдор поступил в Одесский институт инженеров морского транспорта. Нельзя сказать, чтобы уж так его влекло море, что он спал и видел бескрайние просторы морей, бушующие океаны, что живет морской романтикой. А вот корабли влекли его, как суть плавающих механизмов, то есть интересовала его в большей степени корабельная механика. Ему хотелось не просто плавать, а плавать инженером.

Однако жизнь показала, что Одесский институт инженеров морского транспорта был явной ошибкой 17-летнего Фёдора Се-

дыкина. Фёдор вернулся, домой, в Тулу. В 1951 году Фёдор успешно закончил Тульский механический институт, ставший для него действительно родным: все значимое, что успел в жизни, связано с Тульским механическим. Ибо вместе росли, мужали и совершенствовались, превращаясь, один – в именитого профессора, другой – в именитый теперь университет (о чем мечтал и к чему стремился Фёдор Владимирович).

Будучи второкурсником, Фёдор на танцах познакомился с очаровательной Зиной Зотовой, студенткой того же института, но ниже курсом, и тоже тулячкой. После окончания института, сыграли свадьбу. Фёдор по распределению укатил в Ковров, на завод к знаменитому Дегтяреву, а молодая супруга осталась в Туле: предстояла защита диплома. Через год к нему присоединилась жена – распределилась на тот же оружейный завод в Коврове. Вскоре у них родилась дочь. А потом они вернулись в Тулу, в родной Тульский механический институт. Там вместе и работали. Но когда Фёдор Владимирович стал ректором института, Зинаида Андреевна перевелась в Тульское артиллерийское высшее командное училище. Работала старшим преподавателем.

Работая в Тульском механическом, Фёдор Владимирович окончательно утвердился, что действительно попал в свою колею. Желание познания было так велико, что он, как рассказывал потом его друг и коллега, профессор Леонид Александрович Толоконников, ни разу не пропустил занятий в институте.

*Где искать корни такого подвижничества? Ответ однозначный. Творческая самоотдача, самопожертвование ради дела, целеустремленность, умение зажечь, вдохновить людей своим примером на доброе дело, альтруизм, если хотите. И не удивительно, что такой человек, как Седыкин, предельно коммуникабелен, а значит, к нему больше поступает ценной информации, ему легче находить полезные контакты.*

Вот с таких полезных контактов и творческой самоотдачи Фёдор Владимирович начал свой путь в науку еще на оружейном заводе в Коврове. Работал сначала старшим мастером, а затем начальником технологической лаборатории. Вот как сразу повернулась судьба лицом к Фёдору, лишь только соединилась его энергия с энергией родной земли! К тому же молодой тульский оружейник (потом и обе диссертации Фёдора Владимировича, и

многие научные труды будут посвящены именно производству оружия) сразу попадает на тогда уже прославленный пулеметный завод, да еще имени самого Василия Алексеевича Дегтярева, То же, кстати, потомственного Тульского оружейника.

Василий Алексеевич, за более, чем 30 лет работы на заводе, создал многие великолепные образцы оружия. Летом 1927 года, когда Седыкин только-только начал произносить первые звуки, Василий Алексеевич уже сдавал на вооружение Красной Армии свой первый ручной пулемет ДП, а летом 41-го, когда будущий ученый Фёдор Владимирович Седыкин пребывал в патриотическом отрочестве, наша армия получила от Дегтярева противотанковое ружье, партии которого прямо с конвейера отгружались к местам боев. Так, что было чему поучиться Седыкину на оружейном заводе в Коврове.

На заводе молодой специалист знакомится с Владимиром Николаевичем Гусевым, русским ученым, изобретателем, автором анодно-гидравлического (позже его назовут электрохимическим) метода обработки металлов, разработанного им еще в 1928 году. Правда, с самого начала метод этот широкого применения не нашел, даже в начале пятидесятых, хоть и использовался, но проблем с ним было предостаточно. Поэтому инженер Седыкин с энтузиазмом принял предложение Владимира Николаевича заняться дальнейшей разработкой и развитием метода. Это был подарок судьбы! Его надо было отрабатывать.

Заинтересованно (увлек-таки Гусев), настойчиво и квалифицированно взялся за дело Фёдор, прежде всего, досконально изучив все положительные и отрицательные стороны проблемы. *Наделенный способностью уметь, осуществлять, обладающий значительной внутренней силой*, Седыкин всецело отдался работе. Будущий министр машиностроения, а тогда главный инженер завода, Вячеслав Васильевич Бахирев вспоминал на этот счет: «В какое время не зайдешь в цех, непременно увидишь там Фёдора – то что-то измеряющего, то набрасывающего какой-то эскиз, то работающего на станке...». Уже здесь проявляется и *его способность объединять людей, согласовывать части в единый жизнеспособный организм, его организующая жизненная функция*.

Вокруг него группируются единомышленники, творчески одаренные специалисты, обсуждаются и разрабатываются планы

широких научных исследований, экспериментов, внедрения результатов в производство. Молодой инженер, заражая своей увлеченностью маститых, не стесняется привлекать к работе специалистов, консультироваться даже у видных в то время ученых. Результат – внедрение в производство технологии обработки ствола с нарезками переменной крутизны и с последующим их хромированием. В конечном итоге – создание высокотехнологичных участков по получению нарезок переменной крутизны в каналах стволов диаметром от 5 до 100 миллиметров на заводах Ленинграда, Тулы, Коврова, Ижевска и других городов, где производилось ствольное оружие.

Но был еще один результат деятельности инженера Седыкина в технологической лаборатории Ковровского завода – встреча с заведующим кафедрой спецтехнологий МВТУ им. Н.Э. Баумана профессором Эдуардом Адамовичем Сателем, убедившим уже вполне подготовленного инженера поступить в аспирантуру при его кафедре. Здесь, в кандидатской диссертации, которую Фёдор Седыкин защищает в 1957 году, формируются его научные пристрастия – физико-химические технологии машиностроительного производства, в частности, технологии электрохимического формообразования каналов стволов стрелково-пушечных систем, а также проблемы повышения точности электрохимической обработки.

Защищена кандидатская диссертация, уже имеется определенный научный багаж. А дальше накопление и накопление знаний, стремление к высшему познанию выбранного для исследования предмета, совершенствование и совершенствование.

Молодой ученый постигает премудрости науки, будучи доцентом кафедры «Технология машиностроения» в родном Тульском механическом институте. Главное направление в поисках – дальнейшие теоретические и экспериментальные исследования физико-химического механизма анодного растворения различных металлов и сплавов, изучение их обрабатываемости электрохимическим методом. Изначальная идея В.Н. Гусева переросла уже в доказанную математическим путем и подтвержденную экспериментально теорию.



**Ф.В. Седыкин в группе стажеров,  
изучающих английский язык.  
Штат Индиана, США**

Седыкин командирован на стажировку в США, в Массачусетский технологический институт. Америка произвела сильное впечатление на молодого советского ученого: ошеломила небоскребами, обилием автомобилей, деловой хваткой американцев. Здесь он получил много полезной информации для дальнейшей научной работы. По окончании командировки ему предложили остаться в Америке и работать по линии ЮНЕСКО, но дома, в России оставалась любимая работа, нерезализованные идеи и задумки, по-

этому, не остался Фёдор Владимирович, вернулся в Тулу.

В 1963 году два института Тулы – механический и горный – объединяются в Тульский политехнический институт. Элегантный, с хорошим после Штатов английским языком, тридцатишестилетний доцент Седыкин назначается заведующим кафедрой «Производство машин и аппаратов», а вскоре и проректором по научной работе. Объединение двух вузов было шагом вперед по пути к организации университета. Это позволяло сосредоточить выделяемые государством средства – и финансовые, и материальные, и людские, в одних руках. Более эффективно направлять их на решение приоритетных с точки зрения города и страны, а не какого-то ведомства, задачи. Естественно, объединение двух институтов не прошло без участия Фёдора Владимировича.

Именно в политехническом и развернулась в полном объеме деятельность ученого и просветителя Ф.В. Седыкина. Знакомая с этим периодом его жизни, невольно ловишь себя на мысли, что человек с какой-то необузданной жадностью вбирал и впитывал в себя все новую и новую информацию по проблемам электротехноло-

гии. Его как бы затягивало удивительное свойство информации – не уменьшаться от того, что ее потребляют, а «расширяться».



**Ф.В. Седыкин с коллегами во время научной командировки в США на фоне Белого дома**

Он совершенствовал технологию изготовления каналов артиллерийских стволов, стволов гранатометов, охотничьих ружей. Параллельно занимался проблемами обрабатываемости материалов и точности при электрохимической обработке, постигал суть влияния лазерного излучения

на материалы, создавал оборудование для электрохимической обработки, наконец, просто изобретал.

Фёдор Владимирович – автор 150 научных работ, в том числе 8 монографий и 4 учебников, ряда изобретений. К числу его наиболее заметных трудов относят вышедшую в 1976 году монографию «Размерная электрохимическая обработка деталей машин» [87], предназначенную для инженерно-технических работников машиностроительных предприятий. Этот труд отличается широтой охвата проблемы, строгостью изложения материала, большим количеством примеров технологических расчетов, что особенно важно для инженеров-практиков.

Большую методологическую помощь производственникам оказали монографии, посвященные расчету, проектированию и эксплуатации средств технологического оснащения [88, 89], в которых аккумулированы накопленные к тому времени справочные и нормативные материалы, рекомендации, имеющийся производственный опыт. Фёдор Владимирович всегда сам хорошо понимал и учил своих учеников тому, что каждая изданная техническая книга – это, прежде всего, руководство к действию для заводских инженерно-технических работников, средство повышения качества и, в то же время, облегчения их труда.

Занимаясь научными исследованиями, он одновременно учил студентов, аспирантов, разрабатывал и выпускал учебные программы, писал статьи и учебники, читал лекции, вел семинары, организовывал конференции, работал на международных симпозиумах. Строил и создавал научно-исследовательские лаборатории, производственные цехи и участки, целые производства. И делал многое, многое другое.

Седыкин давно понял, что нужна хорошо организованная система подготовки высококвалифицированных специалистов в области электротехнологии. Нужны ученики, помощники, последователи. Поэтому, он придумал и организовал эту систему.

Именно в это время Фёдор Владимирович почувствовал недостаток знаний в специальных областях математики. Уже готов был поступать на заочное отделение физико-математического факультета Московского государственного университета, уже собрал необходимые документы, но так и не пришлось осуществить свою затею. Как всегда, работа увлекла и не позволила довести до логического конца задуманное.

Создание научной школы формально началось с приказа министра высшего и среднего специального образования РСФСР за №800 от 10 декабря 1964 года «О выпуске инженеров по электрофизическим и электрохимическим методам размерной обработки материалов». Понятно, что начинать школу надо со студентов. Тем более, что потребность в таких дипломированных специалистах давно назрела. Радовался проректор по научной работе, участвуя в подготовке текста приказа. Теперь, думал, дело пройдет. В приказе за подписью министра В.Н. Столетова указывалось на необходимость «...организовать, начиная с 1965–1966 гг., на старших курсах выпуск инженеров с отрывом от производства по специальности «Электрофизические и электрохимические методы размерной обработки материалов» – в Московском станкоинструментальном, Тульском политехническом и Новосибирском электротехническом институтах – по 25 человек в каждом ВУЗе за счет имеющегося контингента указанной специальности». Эта специализация организовывалась на базе специальности 0501 – технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты.



**Ф.В. Седыкин на строительстве научно-исследовательской лаборатории**

влекательной. Чтобы все, кто с ней соприкасался, особенно молодежь, не просто увлекались, а прямо-таки заражались ею.

На семинарах Седыкина проблемы электрохимической обработки обсуждались не только с точки зрения теории. Руководители семинаров, как правило, требовали практического применения разработок, реализации их в совершенствовании технологии метода, в соответствующем технологическом оборудовании.

Студенты, руководимые кандидатами и докторами наук, выполняли проекты на уровне, близком к мировому. И пусть большинство этих работ так и остались на стадии проектов, тут важно было другое. Важны были знания, полученные в ходе работы, опыт общения с маститыми учеными. А разве менее важны были приобретенные навыки научного поиска решений, умение проводить эксперимент и анализировать его результат, собирать и правильно обрабатывать информацию, наконец, просто ощутить удовлетворение от результатов работы. Всему этому как раз и учил Фёдор Владимирович своих питомцев. Перспективных учеников он пестовал с особым пристрастием: занимался лично с каждым. И вел их до тех пор, пока они не выходили на самостоятельную дорогу. Это была уже школа, седькинская школа обуче-

Сразу же создали соответствующую учебную базу, обеспечили учебный процесс по указанной в приказе министра специальности. Для этого организовали специальные курсы лекций по теоретическим основам метода, его технологии и соответствующему оборудованию. Ввели обязательный лабораторный практикум по данной тематике. Седыкин делал все, чтобы его замысел стал не только реальией, но эта реальия должна была быть при-



ния интеллектуальной работе, культуре труда, самостоятельности в научном поиске. Семинар Седыкина (его так и называли) быстро получил широкую известность. Семинар вскоре перерос из обычного, институтского во всесоюзный, а затем стали проводить и Всесоюзные научно-технические конференции.

В те годы широкое распространение получила практика создания так называемых проблемных и специализированных лабораторий. Они создавались совместными усилиями вузов и промышленных предприятий. Фёдор Владимирович такие лаборатории тоже организует: на Тульском машиностроительном заводе и в своем институте. Более того, завод помогает институту построить и оборудовать новый лабораторный корпус, что в конечном итоге позволяет ТПИ значительно расширить и разнообразить области научных и экспериментальных исследований.

Появляются новые возможности для изучения кинетики электродных процессов, обрабатываемости твердых и сверхтвердых металлов и сплавов, создаются условия для решения многих задач, в частности, насущной по тем временам проблемы формирования микрогеометрии поверхности при электрохимическом формообразовании. Кафедра Седыкина становится, можно сказать, центром научных исследований в области теории и практики размерной электрохимической обработки, подготовки квалифицированных кадров. Создаются собственные аспирантура, Совет по присуждению ученых степеней кандидатов и докторов наук. Значительно расширяется география хозяйственной деятельности кафедры.

Тесное творческое сотрудничество объединяет в те годы коллективы Тульского политехнического института и Туламашзавода. Кроме лаборатории, которая со временем преобразовалась в отдел электрических методов обработки, на заводе начинает эффективно действовать бюро по проектированию специальных электрохимических станков с последующим их изготовлением в станкоинструментальном производстве. Результатом такого альянса стало создание целой гаммы оригинального электрохимического оборудования для изготовления стволов и других составных частей стрелкового оружия и пушек. Именно в союзе студентов, ученых и производственников было создано оборудование для комбинированных электротехнологических процессов, для

процессов импульсного электрохимического формообразования деталей пресс-форм и стрелково-пушечного вооружения типа затвор, казенник.

Совместно был разработан и ряд уникальных технологических процессов, которые обеспечили обработку и изготовление более двух тысяч наименований деталей. А применение на практике созданных в тесном сотрудничестве комбинированных электротехнологических методов обработки, позволило повысить ресурс ряда изделий стрелково-пушечного вооружения в 1,5–2 раза.

За всем этим виделся огромный труд ученого и организатора – Фёдора Владимировича Седыкина – человека, который обладал разнообразными возможностями для применения своих знаний в жизни. Это был и огромный труд возглавляемого им научного коллектива, в котором так гармонично сливались дерзновенная молодость и мудрый, убеленный сединой, опыт, теория и практика. Итогом этого этапа длиной в десять лет стала докторская диссертация, в которой Ф.В. Седыкин теоретически обосновал процесс электрохимического формообразования стволов различного вида вооружений. *Это была первая в стране, защищенная докторская диссертация по размерной электрохимической обработке материалов.* Создавалась тульская научная школа Седыкина.

В свое время М.В. Щербак, ученик Б.Р. Лазаренко, начальник отдела одного из столичных НИИ по созданию и производству ракетно-космической техники, его заместители А.А. Батьков и В.Х. Постановов пребывали в глубоком раздумье. Дело в том, что ракетно-космическая техника развивалась семимильными шагами и настойчиво требовала новых, более эффективных технологий производства ее деталей, узлов и агрегатов. Как, например, обрабатывать детали и узлы из титановых, магниевых, ниобиевых, никелевых, бериллиевых, вольфрамовых, молибденовых и прочих им подобных металлов и сплавов? Как быть с обработкой корпусных деталей вафельных конструкций и шпангоутов, диаметр которых составляет более двух метров, обеспечивая их минимальную массу при заданной прочности? Вот тогда-то Б. Р. Лазаренко и подсказал своему ученику выход из положения: есть, дескать, в Тульском политехническом институте проректор по научной работе Седыкин Фёдор Владимирович, специалист высочайшего класса в об-

ласти новых технологий. Поехал М.В. Щербак в Тулу и сильно познакомился с Седыкиным, как оказалось, на всю жизнь.

Результатом их творческого союза стали обширные исследования по применению технологий размерной электрохимической обработки в производстве ракетно-космической техники. Добавьте сюда десятки печатных трудов и авторских свидетельств на изобретения, защищенные диссертации – все это тоже итог их тесного союза. Более того, проведенные при совместном творчестве исследования стали теоретической основой для создания целого ряда уникальнейших станков серии СЭХО. Это станки для обработки оболочек, станки СЭХО-41 и А-605 для обработки шпангоутов, установки УАТ-3 для активного контроля толщины полотна ячеек в процессе электрохимической обработки. Это и новый суперисточник питания на 10 кА с системой защиты от коротких замыканий с временем срабатывания 1 мс. И еще многое, многое другое, что родилось в плодотворном союзе москвичей и туляков.

Скажем одно: теоретические разработки, проведенные в свое время учеными из ТПИ, легли потом в основу создания уникального с технической точки зрения оборудования. Скажем, станки СЭХО-80 позволили обрабатывать глубокие карманы в шпангоутах из титанового сплава в четыре раза быстрее, нежели это делалось механическим способом. А станки СЭХО-4П-1, что использовались для снятия дефектного слоя после электрэррозионной обработки лопаток закрытого ротора, по сравнению с обычными методами снизили трудоемкость изготовления лопаток в семь раз.

Можно перечислить десятки идей и разработок туляков, использованных при создании высокотехнологического оборудования в ракетостроении, при организации новых участков, цехов на ведущих заводах ракетно-космического комплекса страны. Тульские идеи воплощались на таких гигантах ракетно-космической промышленности, как Московский завод им. М.В. Хруничева, Днепропетровский Южмаш и Красноярский машиностроительные заводы, многие другие. Недаром их создатели отмечены лауреатскими званиями, учеными степенями, орденами и медалями Родины. В том, что летают наши ракеты, есть заслуга и седыкинской мысли, и прямого его участия.

Сорокатрехлетний ректор Тульского политехнического института во главу угла ставит создание прочнейших связей вузовской науки с научными организациями АН СССР, отраслевыми НИИ и КБ, с промышленными предприятиями страны; расширение сети внедренческих лабораторий и отделов, производственных участков и цехов по электрическим методам обработки.

Такие лабораторные центры, с активным организационным, методическим и консультационным участием Фёдора Владимировича и его друга, ученика и коллеги Б.Р. Лазаренко, профессора Бориса Никифоровича Золотых, создаются в Москве, Киеве, Минске, Саратове, Новосибирске, Пензе, Уфе, Харькове, Комсомольске и многих других городах Союза.

«Хорошо было бы, – говорил тогда Фёдор Владимирович, – создать в нашей стране мощную научную и техническую базу для совершенствования электрохимии». И он создал эту базу.

Школа Седыкина выходит на международную орбиту. Фёдор Владимирович участвует в работе летней школы по электрохимической обработке в Чехословакии, работает сопредседателем подготовительного комитета IV Международного симпозиума, представляет советскую науку на следующем – V Международном симпозиуме. Его имя становится известным в машиностроительном мире.

Фёдор Владимирович хорошо понимал, что научно-технический процесс должен развиваться вместе, параллельно с прогрессом нравственным. А это уже прямая задача воспитания и просвещения. Наверное, поэтому также неистово, как в технической науке, Фёдор Владимирович отдавался и просвещению, поэтому и пришел в высшую школу, где всегда, прежде всего, учил познанию сути, культуре труда, живой ответственности совести, стремлению к постоянному образованию и духовному совершенствованию. Все это и есть, в конечном счете, нравственность.

Ученик и коллега профессора Юрий Алексеевич Белобрагин вспоминал о том времени следующее. «С основами электрохимии и электрохимической обработки материалов я впервые познакомился на одном из семинаров в Тульском политехническом институте. Мы, молодые специалисты, знали, что существует закрытая кафедра электрохимических методов обработки материалов, которую возглавлял уже известный ученый Фёдор Владими-

рович Седыкин. Можно сказать, он был нашим кумиром. Интерес к кафедре Седыкина в то время был очень большой, многие мечтали попасть туда.

...После защиты диплома с рекомендательным отзывом на учебу в аспирантуру мне было разрешено посещать на кафедре «Производство машин и аппаратов» семинары по электрохимической обработке, которые вел Фёдор Владимирович. Он был внимателен к каждому выступающему, по окончании доклада с замиранием ожидавшему его отзыва. А отзывы были всегда доброжелательными и полезными. Даже еще в незавершенной работе он находил рациональное практическое зерно и помогал довести научную работу до завершения».

Фёдор Владимирович не дожил до светлого дня – открытия университета в Туле, но сегодня Тульский государственный университет, созданный и усилиями ректора, а затем и заместителя министра, профессора Ф.В. Седыкина, действует и известен всей стране. Наиболее одаренные студенты университета за усердие в науке – творческую активность по изучению прогрессивных методов обработки материалов, личное участие в разработке технологий и оборудования для производства, рвению в изучении иностранных языков, получают стипендию имени Ф.В. Седыкина, утвержденную Акционерной компанией «Туламашзавод».

Фёдор Владимирович мечтал об университете, он говорил о необходимости универсального образования – инженер, ученый обязан быть эрудитом, если не энциклопедистом. Он писал: «Очень важным фактором духовного развития будущего специалиста (и, в частности, в технических областях знаний) является расширение сферы его гуманитарных интересов. Это усилит его жизненную позицию не только как специалиста, но и как человека в целом. Сейчас недостаточно хорошо читать лекции, хотя это и является одним из важнейших элементов успеха в обучении. Научить учиться – одна из главных задач вузовских педагогов. Научить студента культуре труда, выработать у него потребность в постоянной интеллектуальной работе, быть в хорошем, нравственном смысле слова «вечным студентом» в своей профессии – вот одна из целей высшего образования».

Заместитель министра высшего и среднего специального образования РСФСР Ф.В. Седыкин считал, что скоро встанет про-

блема разделения, разграничения получаемых выпускниками вузов дипломов по категориям, что может изменить и саму систему образования.

Проблема самостоятельности в обучении всегда интересовала и занимала Фёдора Владимировича. Он говорил о необходимости развивать студенческую самостоятельность не только в области изучения дисциплины, но и в широком, житейском смысле (студенческое самоуправление), отмечал, что зачастую мы готовим специалистов, изнеженных вниманием, неподготовленных к трудностям.

Профессор Ф.В. Седыкин был человеком незаурядным, много работавшим и много умевшим. Все, что получил Фёдор Владимирович своим усердным трудолюбием, непоколебимой целенаправленностью и беззаветной преданностью делу, он без остатка отдал людям, этим оставив себя в их благодарной памяти.

Фёдор Владимирович был веселым человеком и очень любил яркий юмор Ильи Ильфа и Евгения Петрова, начинал хохотать уже с первого абзаца известного романа.

Как всякий русский, Фёдор Владимирович любил все русское – тульскую землю, отца и мать, свою деревню, бесхитростных деревенских мужиков, сенокос с ржаным деревенским хлебом и холодным молоком из кринки, отцовскую кузницу с красными подковами, баню с квасом и рюмашкой после нее, блины, березовый лес, пение птиц, собирание грибов и, конечно же, русское застолье с песнями, разговорами. Это были желанные, всегда с нетерпением ожидаемые, заранее готовившиеся, но всегда так быстро пролетающие, минуты отдыха. Да и немного их было у Фёдора Владимировича – все время работа. Поэтому и любил.

Открытый и радостный человек... Федр Владимирович не мог быть другим – он учил людей, передавал им Высшее Знание, он всегда «был в своей школе». А радость, так без нее, без радости в душе, никакое полезное общение не возможно. Остер на язык был – лучше не попадаться. За дело так «отбреет» - мало не покажется, невзирая на чины

Как-то на вопрос: кто есть ученый? – Борис Романович Лазаренко ответил: «Истинный ученый тот, кто способен повторить себя в учениках».

Фёдор Владимирович – многократно ученый, ибо он сотни раз повторил себя в учениках. Профессор Седыкин повторил себя в своих коллегах и студентах Тульского политехнического; во всех тех, с кем творчески трудился на Тульском машиностроительном и других заводах города; в своих последователях, работавших под его научным руководством в организациях и на предприятиях Москвы, Ленинграда, Новосибирска, Саратова, Киева, Минска и многих, многих других городов страны. Он повторил себя в специалистах Америки, Германии, Японии, Швейцарии, Польши, Чехии и т.д., которые успешно используют в деле его идеи и его творческие разработки.

Он повторил себя во всех тех, кто до сих пор говорит: «Я прошел школу Седыкина». Его неутомимая душа здесь, с нами – в его делах, в его учениках, в памяти, воспоминании и размышлении (в том числе и в этом) о нем. Сегодня, в это не простое для народа страны время, он учит нас верить в Россию и работать во славу России. Работать – это главное.

## 2.5. Юрий Николаевич Петров и Кишиневская научная школа прикладной электрохимии



**Юрий Николаевич ПЕТРОВ**  
(1921–1990)

Ю.Н. Петров родился в г. Лбищенске (ныне – г. Чапаев) Западно-Казахстанской области в семье рабочего-железнодорожника. В 1944 г. окончил МВТУ им. Н.Э. Баумана и в годы Великой Отечественной войны работал инженером на одном из заводов в г. Ленинграде.

После окончания в 1949 г. аспирантуры и успешной защиты кандидатской диссертации был направлен в Таджикский сельскохозяйственный институт по программе оказания помощи молодому вузу. Работая в г. Душанбе, он

совмещал преподавательскую работу с активной исследовательской деятельностью в области гальванического осаждения железа. После защиты в 1959 г. докторской диссертации переехал в Молдавию, где более 30 лет возглавлял кафедру «Ремонт машин» Кишиневского сельскохозяйственного института.

В связи с расширением и развитием Б.Р. Лазаренко физико-технического направления исследований в Институте прикладной физики АН МССР Юрий Николаевич с 1966 г. более 30 лет по совместительству возглавлял лабораторию, а затем отдел проблем прочности и долговечности деталей машин этого института. В 1971 г. Ю.Н. Петров был избран действительным членом Академии наук МССР.

Юрий Николаевич Петров – крупный ученый в области технологии машиностроения и прикладной электрохимии, он внес заметный вклад в развитие электрохимической обработки металлов и технологий гальванического получения износостойких покрытий. Он подготовил 12 докторов и более 100 кандидатов технических наук, является заслуженным деятелем науки МССР, академиком АН МССР, награжден орденом «Знак Почета», отмечен другими наградами.

Научные интересы Ю.Н. Петрова лежали в области технологий восстановления и ремонта деталей машин, технологий катодного осаждения функциональных покрытий, процессов и технологий электрохимической размерной обработки.

В области гальваники Юрий Николаевич со своими учениками исследовал процессы и внедрял технологии осаждения железа и сплавов на его основе, хрома, создания многофункциональных композиционных покрытий. В этом направлении в руководимом им творческом коллективе достигнуты значительные научные и практические результаты, защищены несколько докторских (В.П. Косов, В.М. Козлов, В.Ф. Гологан, Г.В. Гурьянов, И.А. Гроза) и около 100 кандидатских диссертаций.





**Ю.Н. Петров в лаборатории  
ЭХО ИПФ АН МССР**

В области электрохимической размерной обработки под руководством Юрия Николаевича исследованы процессы высокоскоростного анодного растворения сталей, сплавов на основе титана, вольфрама, рения, никеля, твердых сплавов. Созданы оригинальные методики исследований и соответствующее оборудование. Разработаны и внедрены технологические рекомендации, эффективные технологические процессы, новые источники питания. В этой области его ученики Г.Р. Энгельгард, Г.Н. Зайдман, А.И. Дикусар, Б.П. Саушкин, А.В. Рыбалко, С.И. Галанин защитили докторские диссертации.

В общей сложности по направлению прикладной электрохимии Ю.Н. Петров подготовил 12 докторов и более 100 кандидатов наук. Руководимой им кафедрой подготовлено более 1000 инженеров-механиков.

Юрий Николаевич активно участвовал в Международных научных конференциях, во Всесоюзных конференциях и организовывал их в г. Кишиневе, работал в качестве члена редколлегии журнала «Электронная обработка материалов», оппонировал при защите диссертаций. Многие годы он был председателем Совета по защите докторских и кандидатских диссертаций в Кишиневском сельскохозяйственном институте.

Одной из наиболее значимых научных заслуг Ю.Н. Петрова справедливо считают создание Кишиневской научной школы прикладной электрохимии.



Слева направо: д.т.н., профессор  
А.Г. Атанасянц, академик Ю.Н. Петров,  
к.т.н., доцент Б.П. Саушкин.  
Международный симпозиум  
по электрохимии. Каунас. 1986 г.

ной науки и высоко ценил специалистов, обладающих теоретическими знаниями в области физической химии и электрохимии. Он считал, что электрохимические исследования, во-первых, приводят к выявлению и обоснованию новых научно-технических эффектов (например, эффект теплового взрыва), которые можно использовать в прикладной области, во-вторых, их результаты позволяют теоретически обосновать постановку и объяснить результаты экспериментальных исследований.

Именно поэтому, в его отделе в ИПФ АН МССР работали первоклассные электрохимики (Ж.И. Бобанова, Л.Н. Андреева, С.Н. Сидельникова, А.И. Дикусар, А.Н. Молин), физик Г.Р. Энгельгардт, защитивший докторскую диссертацию в теоретическом отделе Института электрохимии им. А.Н. Фрумкина АН СССР.

Юрий Николаевич всячески стимулировал связи с академической наукой и очень ценил сотрудников ИЭ АН СССР к.х.н. В.Д. Кашеева и к.х.н. А.Д. Давыдова, курировавших в то время направление высокоскоростного анодного растворения металлов в этой научной организации.

В основе создания и развития школы лежит, прежде всего, логика развития основной фундаментальной науки (наук), формирующей базу теоретических знаний, методологию и инструментарий теоретических исследований. Юрий Николаевич глубоко понимал основополагающую роль теоретической электрохимии в развитии возглавляемого им направления приклад-



**Академик Ю.Н. Петров среди участников  
Международного симпозиума  
по электрохимии**

привлекались грамотные, опытные и квалифицированные инженеры (Г.Н. Зайдман, А.Н. Ягубец, В.Ф. Гологан, М.П. Стратулат, В.А. Аранцев, А.В. Гурьянов и др.).

Таким образом, проявлялся синергетический эффект в результате консолидации труда ученых разных специальностей при разработке крупных научных проблем, проявлялся эффект саморазвития, базирующийся на кооперативных принципах деятельности, постоянном обмене результатами, идеями и пр.

*Юрий Николаевич понимал необходимость постоянной подпитки коллектива исследователей молодыми кадрами с целью поддержания непрерывности процесса генерирования и сохранения новых знаний. Он постоянно стремился оптимизировать процесс обучения научной молодежи и воспроизводства научной культуры путем передачи, как предметного содержания, так и культурных норм и ценностей от старшего поколения к младшему. Поэтому, он поощрял преподавательскую деятельность ведущих исследователей в высших учебных заведениях с целью отбора и привлечения перспективной инженерной молодежи.*

Так, Г.Н. Зайдман, работая в ИПФ АН МССР, читал курс «Электрофизические и электрохимические методы обработки» на механическом факультете Кишиневского политехнического института, откуда и привлек в аспирантуру ИПФ (лаборатория ЭХО) Б.П. Саушкина и В.И. Петренко.

Б.П. Саушкин, читая этот же курс позднее, пригласил в лабораторию будущих аспирантов и кандидатов наук Г.Н. Приня,

Вместе с тем, он понимал, что прикладная наука может быть востребованной только тогда, когда производит продукцию, внедряемую в производство: эффективные технологии, средства технологического оснащения. Поэтому, к исследованиям

И.Д. Рушику, Г.С. Доменте, привлек к научным исследованиям будущего кандидата наук, ассистента А.З. Нистряна. Студентами А.И. Дикусара, преподававшего в Кишиневском и Тираспольском университетах, были Л.В. Салтановская, Н.И. Цынцару, О.О. Редкозубова и другие.

*Следует отметить тот факт, что Юрий Николаевич при выборе исследовательских программ решающее значение придавал новизне решаемых задач, перспективности предполагаемых результатов.* Так, он инициировал исследования по нестационарному электролизу, сначала при осуществлении процессов осаждения, а затем – при исследовании анодных процессов. В результате – четыре докторских диссертации (В.П. Косов, Б.П. Саушкин, А.В. Рыбалко, С.И. Галанин), несколько монографий, авторские свидетельства на изобретения. Заметим, что первая диссертация по импульсному электролизу была защищена в нашей стране А.К. Алтынбаевым в 1971 году. В тот же год в лаборатории ЭХО была начата диссертационная работа на тему «Исследование вопросов точности электрохимического формообразования импульсами тока применительно к обработке деталей авиационных двигателей» (Б.П. Саушкин), защищенная в 1975 году в Казанском авиационном институте им. А.Н. Туполева.

*В школе Ю.Н. Петрова к середине 70-х годов сложилась система традиций и ценностей, внутренних стандартов научной результативности и научной этики.* Это привело к созданию комфортного для исследовательской работы морального климата в коллективе. За время моей работы в ИПФ АН МССР (1970–1977 гг.) я не припоминаю ни одного серьезного межличностного конфликта, случая противопоставления себя коллективу, нарушения этических норм поведения. Это, в первую очередь, заслуга Ю.Н. Петрова, умевшего не только подбирать кадры, но и ненавязчиво работать с ними. Казалось бы, академик редко заходил в лабораторию, но его присутствие ощущалось постоянно. Кроме того, руководящий состав лабораторий, а это А.Н. Ягубец, Г.Н. Зайдман, А.И. Дикусар – восприняли и претворяли в жизнь научную идеологию и кадровую политику лидера школы.

*Школа Ю.Н. Петрова к середине 70-х годов получила широкое публичное признание со стороны других научных направлений, как в системе АН МССР, так и на всесоюзном уровне.* Это выра-

жалось, прежде всего, в том отношении со стороны окружающих, коллег по научной деятельности, которое проявлялось во время командировок на предприятия, конференций, научных встреч. Конечно, мы понимали, что такое отношение к представителям школы определяется, прежде всего, личностными качествами ее лидера и отношением к нему научной общественности, гордились своим Учителем и безмерно уважали его.

К середине 70-х в школе Ю.Н. Петрова уже успешно работали три поколения исследователей: основатель школы – академик Ю.Н. Петров, его последователи-преемники – к.т.н. А.Н. Ягубец, к.т.н. Г.Н. Зайдман, к.т.н. В.Ф. Гологан, к.т.н. В.П. Косов, ученики преемников – А.И. Лоскутов, В.И. Петренко, Б.П. Саушкин, И.А. Гроза, позднее В.И. Береза и др.

А.И. Дикусар, в дальнейшем много сделавший для развития школы, пришел к Ю.Н. Петрову уже сложившимся ученым, кандидатом химических наук. Руководителем его кандидатской диссертации был известный ученый, специалист по проблемам тепло- и массопереноса, д.т.н., профессор Кишиневский.

Особое место среди представителей второго поколения школы Ю.Н. Петрова следует отвести главному научному сотруднику ИПФ АН МССР, д.т.н. Григорию Наумовичу Зайдману. Он родился в 1929 году, был на 9 лет моложе Юрия Николаевича, пережил много трудностей в жизни. Будучи 12-летним подростком, эвакуировался вместе с семьей на восток страны, где в тяжелых житейских условиях его семья проживала вплоть до освобождения Молдавии. После окончания средней школы учился на машиностроительном факультете Одесского политехнического института. Получив диплом инженера, три года работал по распределению на машиностроительном заводе в г. Коломне, затем вернулся в Молдавию и работал на предприятиях г. Кишинева. Поступил в аспирантуру Кишиневского сельскохозяйственного института к Ю.Н. Петрову и успешно защитил кандидатскую диссертацию, посвященную интенсификации процесса катодного осаждения железа путем наложения на ванну ультразвуковых колебаний.

С 1966 года и до своей кончины в 1995 году Григорий Наумович работал в Институте прикладной физики, замещая и выполняя ряд функций Ю.Н. Петрова. Он был руководителем

кандидатских диссертаций Б.П. Саушкина, Г.Н. Приня, Г.С. Доменте, Г.С. Суворовой, И.Д. Рушики, оказал большую помощь А.И. Рыбалко при подготовке кандидатской и докторской диссертаций.



**Григорий Наумович Зайдман**  
(1929–1995),  
доктор технических наук



**Иван Антонович Гроза**  
(1950–1992),  
доктор технических наук,  
профессор

Григорий Наумович был замечательным педагогом. Он умел ненавязчиво и деликатно поправить ошибку своего ученика, подсказать путь или направление решения отдельных задач. Будучи квалифицированным и опытным инженером, он значительно лучше других членов лаборатории знал и понимал технологические вопросы развития ЭХРО, много работал со студентами Кишиневского политехнического и Ивановского химико-технологического институтов, проходившими практику в ИРФ.

Долгое время сотрудничал с редакцией журнала «Электронная обработка материалов», писал рецензии, правил рукописи. Хорошо знал русский язык и литературу, писал лаконично, грамотно и требовал этого от других. Знал и хорошо понимал юмор, все-таки студенческие годы в Одессе не прошли даром.

Григорий Наумович был соавтором двух хороших монографий по электрохимической размерной обработке. Вел себя с окружающими предельно корректно, вежливо, дружелюбно, никогда не терял самообладания. В среде электротехнологов к нему относились с заслуженным уважением.

Ю.Н. Петров хорошо знал сильные стороны личности Г.Н. Зайдмана, ценил его работу и уважал, как человека и ученого. Докторская диссертация Григория Наумовича «Процессы формирования и методы расчета катодов-инструментов для электрохимической размерной обработки деталей машин» (1992 г., Новочеркасский политехнический институт) обобщила результаты его многочисленных работ по электрохимической размерной обработке в течение 25 лет добросовестного научного труда.

Хотелось бы добрым словом вспомнить еще одного выходца из школы Петрова. Иван Антонович Гроза родился в 1950 году в небольшом селе Фрумушика в Молдавии.

Закончил Кишиневский политехнический институт и поступил в аспирантуру ИПФ в лабораторию А.Н. Ягубца. Подготовил и защитил в МХТИ им. Д.И. Менделеева кандидатскую диссертацию, посвященную катодному осаждению титана на углеродные волокна.

Лауреат премии ЦК ЛКСММ в области науки и техники. Работал преподавателем в КПИ, прошел путь от ассистента до профессора, заведующего кафедрой электротехники. Читал курс теоретических основ электротехники, работал с аспирантами. Прошел научную стажировку в Швейцарии, в лаборатории известного электрохимика Д. Ландольта, стажировался в США. В 1990 г. в Днепропетровском химико-технологическом институте он защитил докторскую диссертацию.

В 42 года, находясь в научной командировке в США, скоропостижно скончался. По своему человеческому и научному потенциалу Иван Антонович мог бы еще многое сделать и многого достичь в науке и жизни.

Завершая ретроспективный анализ научной школы Ю.Н. Петрова, следует особо подчеркнуть, что, по всеобщему мнению, сам *Юрий Николаевич, безусловно, соответствовал требованиям к лидеру научной школы, задающему вектор ее развития и являющемуся автором идей, методов и исследователь-*

ских программ. Как его ученик, позволю себе перечислить характерные черты Учителя, которые в своей совокупности дают представление о масштабе его личности:

- целостность характера;
- демократичность поведения. Он никогда не обозначал границу, выражающую его социальный статус, при общении с подчиненными, был прост и конкретен при решении оперативных задач;
- выражал свои мысли простым, правильным, русским языком, не любил ходить вокруг да около, был чужд интриг и закулисных решений. Будучи членом парткома КСХИ, зарекомендовал себя, как бескомпромиссный, прямой и справедливый член партии, что, отнюдь, не было нормой в те времена;
- в общении с окружающими вел себя сдержанно, не повышал голоса, никогда не оскорблял и не обижал собеседников и подчиненных ему людей;
- умел дружить, был в прекрасных отношениях с лидерами и ведущими представителями других научных школ такими, как Ф.В. Седыкин, Ф.И. Кукоз, И.И. Мороз, Г.Н. Корчагин, А.Г. Атанасянц, В.П. Смоленцев, Е.М. Румянцев и др.;
- ответственно относился к своей семье. Дети Юрия Николаевича – дочь, Наталья Юрьевна и сын, Владимир Юрьевич получили хорошее образование, защитили кандидатские диссертации.

Таким образом, в 60–90-х годах прошлого века в г. Кишиневе Юрием Николаевичем Петровым была создана и успешно функционировала научная школа прикладной электрохимии, которая развивала два направления:

- исследование процессов катодного осаждения металлов и сплавов с целью создания эффективных технологий нанесения функциональных покрытий на детали машин для повышения их эксплуатационных свойств;
- исследование процессов высокоскоростного анодного растворения металлов и сплавов с целью разработки высокоэффективных технологий электрохимической размерной обработки деталей наукоёмкой техники.

В соответствии с существующими представлениями научная школа – это форма совместной научной деятельности коллектива исследователей разного возраста и квалификации, руководимых



признанным лидером, объединяемых общим направлением работ, обеспечивающих эффективность процесса исследований и рост квалификации сотрудников. Как видно, это определение полностью соответствует сказанному выше.

*К основным научным результатам деятельности этой школы относят:*

1. Разработка количественных и качественных моделей переноса заряда и массы через приэлектродный слой и границу раздела фаз «металл/ электролит».

2. Теоретическое и экспериментальное выявление и исследование основных закономерностей процессов высокоскоростного анодного растворения и высокоскоростного катодного осаждения металлов и сплавов.

3. Выявление и исследование основных закономерностей процессов нестационарного электролиза с целью разработки высокоэффективных технологий катодного осаждения функциональных покрытий и электрохимического размерного формообразования деталей машин.

4. Развитие и экспериментальное подтверждение теории термокинетической неустойчивости процессов высокоскоростного анодного растворения металлов и сплавов.

5. Развитие теории и практики электрохимического размерного формообразования на основе установления взаимосвязей между параметрами режима электролиза и технологическими характеристиками операции электрохимической размерной обработки. Разработка и апробация обобщенной модели электрохимического размерного формообразования с учетом электродных процессов, процессов переноса, тепло- и газовой выделений в межэлектродном промежутке.

6. Выявление и исследование основных закономерностей процессов анодного растворения металлов и сплавов в неводных и водно-органических растворах электролитов, выявление роли среды в кинетике анодного растворения металлов, разработка методики синтеза новых рабочих жидкостей для ЭХРО.

7. Выявление и исследование основных закономерностей протекания процессов гальванического нанесения многофункциональных композиционных покрытий на детали машин.

*К основным практическим результатам деятельности школы относят:*

1. Разработка технологических рекомендаций по совершенствованию существующих и проектированию новых технологий электрохимического изготовления ответственных деталей машин.

2. Разработка и внедрение высокоэффективных технологий изготовления и отделки лопаток компрессора ГТД и ротора ТНА ЖРД, технологий удаления заусенцев, технологий маркирования и гравирования, технологий электрохимической микрообработки, технологий удаления дефектного слоя, технологий электрохимической отделки и полировки, технологии нанесения кольцевых канавок-турбулизаторов на внутренние поверхности труб теплообменных аппаратов, технологий электрохимического шлифования.

3. Разработка и исследование новых промышленных униполярных и биполярных импульсных источников питания для электрохимических станков.

4. Разработка методологии повышения уровня качества технологий электрохимической обработки за счет унификации изделий и средств технологического оснащения.

В научной школе подготовлены 6 докторов и около 30 кандидатов наук – специалистов в области технологий электрической обработки деталей машин. Молодые представители школы в 1978 г. удостоены звания Лауреатов премии ЦК ЛКСММ в области науки и техники.

Результаты исследований и разработок школы Ю.Н. Петрова обобщены и опубликованы в многочисленных статьях в научной периодике и отражены в следующих основных монографиях и учебных пособиях [63, 90–106].

## 2.6. Анатолий Георгиевич Атанасянц – яркий представитель традиционной научной школы электрохимиков МХТИ им. Д.И. Менделеева



**Анатолий Георгиевич  
АТАНАСЯНЦ  
(1929–2015)**

Анатолий Георгиевич Атанасянц, доктор технических наук, профессор, один из крупнейших представителей отечественной школы электрохимиков, работавших в области высокоскоростного анодного растворения металлов и сплавов.

Анатолий Георгиевич окончил МХТИ им. Д.И. Менделеева и в 1955 г. поступил в аспирантуру к известному ученому С.В. Горбачеву, который много сделал для становления и развития кафедры физической химии МХТИ. Сергей Васильевич впервые сформулировал и экспериментально реализовал температурно-кинетический метод

исследования природы лимитирующей стадии электродных процессов. Этот метод широко представлен в работах А.Г. Атанасянца, который до последних лет жизни тепло вспоминал своего учителя и годы работы с ним.

После защиты кандидатской диссертации Анатолий Георгиевич большую часть своей жизни проработал в этом институте, в последние годы – в должности профессора кафедры физической химии.

Он защитил кандидатскую диссертацию по гальваническому осаждению, однако, затем заинтересовался проблематикой высокоскоростного анодного растворения металлов и сплавов, создал лабораторию по этой тематике и многое сделал в этой области. Анатолий Георгиевич – автор известных монографий и множества научных статей. Исследовательская работа Анатолия Георгиевича, результаты которой сконцентрированы в его докторской диссертации и в монографиях, осуществлялась по тематике

предприятий Министерства среднего машиностроения, поэтому, успехи, достигнутые на этих предприятиях, в области становления и развития технологий электрохимической размерной обработки в 1975–1985-х гг. тесно связаны с его именем.

В начале 1980-х годов докторская диссертация одного из известных в стране специалистов-технологов в области электрохимической обработки материалов была отправлена на рецензирование. Рецензия содержала много замечаний и давала в целом негативную оценку диссертационной работы.

Этот факт привлек внимание лидеров научного направления, в частности, Ю.Н. Петрова, И.И. Мороза, которые поддержали эту работу при ее защите. Рецензию подписал малоизвестный в то время в кругах специалистов по электрохимической размерной обработке д.т.н. А.Г. Атанасянц из МХТИ им. Д.И. Менделеева.

Мой аспирант завершал работу над диссертацией, связанной со специфичной и мало исследованной к тому времени областью применения органических и водно-органических электролитов в процессах высокоскоростного анодного растворения металлов. Поэтому, научный руководитель уже сформировавшейся на тот момент кишиневской школы прикладной электрохимии Юрий Николаевич Петров порекомендовал мне познакомиться с новоиспеченным доктором наук в этой области знаний, к тому же, представлявшим широко известную и уважаемую школу электрохимиков МХТИ. Мне хотелось попросить консультацию по некоторым дискуссионным вопросам данной тематики и попытаться пригласить его выступить в качестве оппонента.

Будучи в Москве, в командировке я, предварительно позвонив по служебному телефону и договорившись о встрече, в назначенное время явился на кафедру физической химии МХТИ, в лабораторию электрохимической обработки.

Меня любезно встретил Анатолий Георгиевич Атанасянц – красивый, статный, элегантно одетый мужчина средних лет, который с первых минут нашей беседы чем-то расположил к себе. Он показал оборудование лаборатории, рассказал о тематике проводимых в ней НИР, познакомил с некоторыми сотрудниками кафедры. обстоятельно ответил на мои вопросы, высказал свою точку зрения о перспективности проводимых нами работ в области исследования процессов анодной обработки в неводных и

водно-органических средах, дал общую оценку эффективности применения таких сред в электрохимическом производстве.

Оказалось, что Анатолий Георгиевич давно и плодотворно работает в области исследования процессов высокоскоростного анодного растворения металлов и сплавов, выпустил в качестве руководителя 9 кандидатов наук. Прикладная часть работ выполнялась на предприятиях Министерства среднего машиностроения, поэтому, из-за режима секретности результаты этих работ были известны ограниченному кругу лиц. Он проявил завидную осведомленность об этой отрасли знаний, как в нашей стране, так и за рубежом.

Была затронута тема, связанная с написанием отрицательной рецензии на докторскую диссертацию. Я долгое время работал в лаборатории, где выполнялась эта диссертация, проводил в ней совместные эксперименты на уникальной установке для скоростной киносъемки процесса электрохимической обработки в длинномерном канале, хорошо знал, как диссертационную работу, так и ее автора. Поэтому, я, по просьбе Анатолия Георгиевича, поделился с ним своими наблюдениями об уровне проводимых в ней исследований и личности руководителя.

Точка зрения Анатолия Георгиевича заключалась в том, что в диссертации отсутствовали собственно электрохимические исследования, не содержались элементы новизны по этому вопросу. Надо сказать, что это действительно было так. Однако, работа защищалась по технологии производства двигателей летательных аппаратов, а не по технологии электрохимических производств. В ней были получены новые результаты по гидродинамике многофазных потоков в длинномерных каналах малого сечения, весьма актуальные для практики электрохимической размерной обработки, построена новая расширенная модель формообразования. Работа была тесно связана с тематикой Казанского моторостроительного завода Министерства авиационной промышленности и внедрена на предприятии. Научная и практическая значимость и ценность работы были неоспоримы.

Впоследствии Анатолий Георгиевич отозвал свой негативный отзыв, диссертация была утверждена и, как мне кажется, наша беседа способствовала этому его решению. Это означает, что, несмотря на свой высокий научный авторитет, он мог при-

слушаться к чужому мнению, выделить в нем объективную информацию, проанализировать новые факты и, при необходимости, изменить свое решение. Такая черта характера встречается далеко не у всех крупных ученых.

Несмотря на то, что мы беседовали около двух часов, между нами наладился хороший, теплый человеческий контакт, который сохранился на всю жизнь. Анатолий Георгиевич показался мне доброжелательным, глубоко порядочным человеком, настоящим ученым, профессионалом своего дела, и я рад, что дальнейшая наша жизнь подтвердила первые впечатления.



**А.Г. Атанасянц среди сотрудников ИПФ АН МССР.**  
Слева направо: академик Ю.Н. Петров, к.х.н. С.Н. Сидельникова,  
А.Г. Атанасянц, к.х.н. Ж.И. Бобанова, к.т.н. Б.П. Саушкин.  
Международный Симпозиум по электрохимии. 1986 г.

Спустя примерно полгода, Ю.Н. Петров пригласил А.Г. Атанасянца участвовать в работе Ученого совета в Кишиневском сельскохозяйственном институте в качестве оппонента диссертационной работы. Они познакомились между собой и в дальнейшем доброжелательно, с уважением относились друг к другу, общались и сотрудничали. Анатолий Георгиевич ознакомился

также с работой лаборатории электрохимической обработки ИПФ АН МССР, побеседовал с ведущими сотрудниками. По-видимому, он высоко оценил уровень сформировавшейся к тому времени в Кишиневе школы в области прикладной электрохимии и в дальнейшем часто выступал в качестве оппонента при защите диссертационных работ, выполненных в ней (А.З. Нистрян, А.В. Маслов, С.В. Масликов, П.Я. Косенко, А.В. Рыбалко). Наши сотрудники, в свою очередь, бывали и консультировались у него в МХТИ (позднее РХТИ).

Анатолий Георгиевич по своему характеру был человеком эмоциональным, мог вспылить, резко ответить человеку. Но никогда при этом, не переходил границу, характерную для человека высокой культуры, никогда не сохранял предвзятого отношения к человеку.

Он обладал высоким чувством юмора, оригинально, по-своему, оценивал многие события окружающего мира. Хорошо знал жизнь, мог очень кратко и емко охарактеризовать того или иного человека и, как правило, не ошибался в своей оценке. Если случалось застолье, мог красочно и интересно выступить, поздравить, поприветствовать виновника торжества.

Он сохранял дружеские отношения со своими товарищами по студенческой скамье, часто встречался с ними. Приходилось видеть, как, по окончании занятий со студентами, в его кабинете собирались профессора других кафедр института, его соратники по аспирантуре, студенческим временам – вспоминали прошлое, обсуждали настоящее, прогнозировали будущее. Анатолий Георгиевич был человеком коллектива, и всегда тянулся к общению с интересными для него людьми.

Надо сказать, что МХТИ того времени оставил у меня ощущение некоторой элитарности, замкнутости. Это был свой мир, со своим мироустройством, в котором бережно хранились и преумножались традиции отцов-основателей, сохранялась в полной мере преемственность поколений. Анатолий Георгиевич чтит эти традиции, часто вспоминал и рассказывал о своем учителе профессоре С.В. Горбачеве и годах учебы в аспирантуре. Позднее, к 100-летию со дня рождения С.В. Горбачева был выпущен сборник статей, среди которых я с интересом прочитал воспоминания А.Г.Атанасянца о своем учителе.

Как профессор МХТИ – одного из ведущих химико-технологических высших учебных заведений страны, Анатолий Георгиевич много внимания уделял подготовке научных кадров. Так, им подготовлено девять кандидатов наук в области электрообработки: В.А. Кравцов, В.А. Корниенко, В.А. Бушуев, Ю.И. Бадин, Р.И. Третьяков, А.В. Бородин, В.С. Ашихмин, А. Савова, В.И. Кузин. Значительный труд вложил он в подготовку докторской диссертации Б.П. Саушкина на тему «Разработка средств и методов повышения эффективности электрохимической обработки изделий из титановых сплавов», будучи научным консультантом. Он читал основные разделы курса физической химии, формирующего фундаментальную научную базу инженера-химика, подготовил ряд методических работ по читаемым дисциплинам, в частности, известное учебное пособие «Кинетическая область гетерогенного процесса» (1990 г.).



Справа налево: А.Г. Атанасянц, профессор М. Кубота (Япония) и д.т.н. Б.П. Саушкин.

Международный симпозиум по электрообработке (ISEM-X). Германия, Магдебург. 1992 г.

Как преподаватель, судя по отзывам его бывших студентов, отличался широкой эрудицией, глубоким знанием предмета, но был строг и принципиален, поэтому, студенты его побаивались. До сих пор можно встретить выпускников МХТИ тех лет, которые с уважением вспоминают профессора А.Г. Атанасянца.

Долгие годы Анатолий Георгиевич был членом Совета по присуждению ученых степеней МХТИ (позднее РХТИ) им. Д.И. Менделеева, часто выступал в качестве оппонента, как в своем Совете, так и в Советах других организаций.

По роду своей научной деятельности Анатолий Георгиевич был тесно связан с ведущими заводами Минсредмаша, часто выезжал в командировки, общался со специалистами предприятий.



Им опубликовано множество научных статей, как в отечественной, так и в зарубежной научной периодической литературе. По результатам докторской диссертации Анатолий Георгиевич опубликовал две книги, которые по ряду вопросов актуальны и сегодня.

Учебное пособие для технологических специальностей высших учебных заведений «Анодное поведение металлов» включает в себя необходимые сведения о кинетике электродных процессов, механизме анодного растворения металлов и сплавов в водных растворах щелочей и нейтральных солей, влиянии структуры металла на скорость его анодного растворения [107]. В нем обобщены имеющиеся сведения, включая результаты собственных исследований, касающиеся анодного растворения группы металлов: молибдена, вольфрама, ванадия, рения, циркония, бериллия, титана, – которые широко используются для производства наукоемких изделий из сплавов со специальными эксплуатационными свойствами.

Цирконий и сплавы на его основе Э-110, Э-125 и другие широко применяются в производстве атомных реакторов и их элементов. Поэтому, анодное поведение этих материалов являлось предметом пристального изучения А.Г. Атанасянца с сотрудниками.

Учитывая назначение книги, Анатолий Георгиевич не только информирует читателя об особенностях анодного растворения отдельных материалов, но и приводит взаимосвязи электрохимических свойств металлов и сплавов с технологическими характеристиками процесса электрохимической обработки, такими как качество поверхности и точность формообразования, достижение которых в процессе производства является одной из задач технолога.

Монография «Электрохимическое изготовление деталей атомных реакторов» предназначена для инженерно-технических работников, занимающихся технологиями электрохимической обработки и ориентирована на предприятия Министерства среднего машиностроения [108]. В ней сделан акцент на практическое применение электрохимических технологий для изготовления деталей атомной энергетики. Отражены результаты, достигнутые при внедрении полученных научных данных в технологии производства наукоемких деталей ядерных реакторов ВВЭР-440, ВВЭР-1000 и РБМК-1500, ВВЭР-440, БН-350, БН-600. Описан

ряд специальных технологий, в том числе, технология электрохимического формообразования решетчатых деталей кассет тепловыделяющих систем из циркониевых сплавов. В этой технологии использовались четыре операции электрохимической обработки, для каждой из которых изготовлена специальная оснастка:

- электрохимическая вырезка проволочным электродом инструментом правильного шестигранного прямоугольного параллелепипеда толщиной 16 мм и диаметром описанной окружности 154 мм;

- электрохимическая прошивка 127 отверстий для ТВЭЛов диаметром 5 мм с жестким допуском на отклонение относительного расположения поверхностей;

- одновременная электрохимическая прошивка 54 профильных пазов сложной формы с поперечным размером 5,5 мм и толщиной перемычки 0,7 мм;

- электрохимическое изготовление паза-канавки под шплинт.

В монографии приведено описание оригинальных образцов технологического оборудования, созданных в отрасли с участием автора, таких, как станки АТ-800, АТ-90, АТ-100.

Вопросы применения электрохимической размерной обработки в технологиях изготовления деталей машин применительно к задачам производства атомных реакторов рассмотрены Анатолием Георгиевичем также в работе [109].

В последние годы жизни Анатолий Георгиевич после перенесенного инсульта долго болел, сохранял ограниченную работоспособность. Несмотря на лечение, он вынужден был прекратить педагогическую и научную деятельность, что его сильно угнетало. Он жил вместе с братом, Леоном Георгиевичем, который помогал ему в эту трудную пору. Тем не менее, он сохранял ясный ум, помнил многие события и факты прошлого, стойко переносил ситуацию, в которой оказался по воле судьбы. Умер Анатолий Георгиевич 22 мая 2015 года и похоронен на Кузьминском кладбище в г. Москве.

## 2.7. Евгений Михайлович Румянцев – ученый, которого знают и помнят



**Евгений Михайлович РУМЯНЦЕВ**  
(1935–2002)

Длительное время проработал в авиационной промышленности, руководил лабораторией ЭХО Ржевского электромеханического завода МАП, был одним из идеологов и исполнителей программы разработки и внедрения технологий электрохимической размерной обработки в отрасли. Автор известной книги – воспоминаний «Чтобы знали и помнили...», повествующей об истории развития электротехнологий в России и о людях, создававших эти технологии [13]. 5 января 2020 г. исполнилось бы 85 лет со дня рождения Евгения Михайловича Румянцева. Все стороны его деятельности можно определить только в превосходной степени: видный ученый, прекрасный руководитель и педагог, заслуженный деятель науки и техники РФ, Почетный работник высшего профессионального образования РФ, лауреат Государственной премии СССР, действительный член РАИН, доктор технических наук, заведующий кафедрой технологии электрохимических производств (1974–2002), профессор Ивановского государственного химико-технологического университета.

Евгений Михайлович Румянцев, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники РФ, лауреат Государственной премии СССР.

Почетный работник высшего профессионального образования РФ, действительный член Российской академии инженерных наук, заведующий кафедрой технологии электрохимических производств Ивановского государственного химико-технологического университета (1974–2002).

Е.М. Румянцев родился 5 января 1935 г. в г. Родники Ивановской области. После окончания средней школы в 1953–1954 гг. работал на меланжевом комбинате «Большевик», а затем служил в рядах Советской армии в Военно-воздушных силах. В 1957 г. поступил в Ивановский химико-технологический институт на специальность технология электрохимических производств.



**Е.М. Румянцев –  
начальник лаборатории  
опытно-конструкторского  
бюро Ржевского  
производственного  
объединения  
«Электромеханика». 1964 г.**

В 1962 г. после окончания ИХТИ он по распределению был направлен в г. Ржев Калининской области на производственное объединение «Электромеханика» в ОКБ научно-исследовательского института технологии и организации производства (НИАТ). В это время на ряде предприятий, прежде всего связанных с авиационной техникой, стал внедряться новый прогрессивный метод – электрохимическая размерная обработка металлов. Е.М. Румянцев многое сделал для организации на Ржевском ПО «Электромеханика» лаборатории электрических методов обработки. На сотрудников этой лаборатории Минавиапромом была возложена ответственность за разработку технологий и оборудования для электрических методов обработки деталей авиационных двигателей при постановке на серийное производство

изделий в отрасли. В ходе этой работы сотрудниками лаборатории была научно обоснована область применения электрохимических методов при изготовлении деталей летательных аппаратов, агрегатов и двигателей.

Экспериментальные и технологические разработки легли в основу конструкторской документации первых моделей отечественных электрохимических копирующе-прошивочных станков, изготавливаемых серийно. В период 1964–1974 гг. на Ржевском ПО «Электромеханика» при непосредственном участии

Е.М. Румянцева были спроектированы и изготовлены электрохимические станки для обработки профиля пера турбинных лопаток и ряда других деталей ЭХО-1, ЭГС-2, станок для обработки лопастей длиной 1300 мм ЭГС-1300, установка ЭКЛ-1800 для обработки лопастей с длиной пера 1860 мм и максимальной шириной 350 мм, полуавтоматический копировально-прошивочный станок ЭКУ-400. В 1971 г., работая на производстве, Е.М. Румянцев защитил кандидатскую диссертацию «Исследование процесса электрохимической обработки винтов самолета с длиной пера до 1500 мм».

Получив опыт производственной, научной и организаторской работы в Ржеве, Е.М. Румянцев успешно реализовал его в сфере высшего профессионального образования. С 1974 года, будучи приглашенным в Ивановский химико-технологический институт, он начал работать в должности заведующего кафедрой технологии электрохимических производств и отдал этой работе все последующие годы жизни, бессменно руководя ею вплоть до своей кончины, на протяжении 15 лет был первым проректором вуза, ныне – Ивановского государственного химико-технологического университета.

Под руководством Евгения Михайловича в 1976 году на кафедре в рамках специальности «Технология электрохимических производств» была открыта новая специализация – «Анодная обработка металлов». В Иванове было подготовлено и направлено на предприятия авиационной промышленности более 200 специалистов по электрохимической обработке. Больше всего их работало на заводе «Металлист», Пермском моторостроительном объединении им. Я.М. Свердлова, Уфимском приборостроительном заводе, Рыбинском моторостроительном объединении, Ульяновском авиационном промышленном комплексе и других.

Под руководством Евгения Михайловича в 70-80-е годы XX века сотрудники кафедры активно занимались гальванотехникой, металлизацией металлов и диэлектриков, разработкой анодных материалов для химических источников тока и электрическими методами обработки. В эти годы на кафедре появились новые сотрудники, появились свежие силы, способные воспринимать новые задачи. Разработанные коллективом способы электрохимического формообразования, защищенные авторскими

свидетельствами СССР, не имели аналогов в отечественной и мировой практике. Получила развитие модель анодного растворения металлов, учитывающая роль поверхностных пленок, формируемых при анодных процессах в водных и водно-органических средах, для подтверждения которой были созданы современные экспериментальные установки, позволяющие исследовать электрофизические свойства оксидных пленок методами спектроскопии электродного импеданса, фотоэлектронной поляризации. Было установлено, что свойства поверхностной пленки, присутствующей на аноде, изменяются в зависимости от состава электролита и электрического режима, что влияет на производительность и точность обработки.

В 1985 г. Е.М. Румянцев защитил докторскую диссертацию «Некоторые теоретические и прикладные аспекты электрохимического формообразования повышенной точности». Под его руководством подготовлено 14 кандидатов и 2 доктора наук. Им опубликовано около 400 научных трудов, в том числе 6 монографий и учебных пособий получено более 50 авторских свидетельств и патентов на изобретения, в 1984 г. в соавторстве с проф. А.Д. Давыдовым был издан учебник «Технология электрохимической обработки металлов». Своими исследованиями Е.М. Румянцев внес заметный вклад в развитие теории процессов анодного растворения металлов при высоких плотностях тока и совершенствование технологии электрохимической обработки. На основе теоретических и прикладных исследований под его руководством был создан ряд копировально-прошивочных станков, которые изготавливались серийно и использовались в различных отраслях промышленности.

Сотрудниками кафедры была разработана схема импульсно-циклической обработки с применением электромагнитного вибратора. Это решение позволило исключить жесткую связь привода подачи и вибрирующего инструмента. При этом величина межэлектродного промежутка контролировалась не по косвенному параметру, а по касаниям детали и инструмента, что позволило значительно повысить точность обработки при незначительном усложнении конструкции установки. Партия станков Э-50, работающих по такому принципу, была изготовлена Ивановским производственным объединением «Точприбор».

Каждое начинание, каждое новое направление в деятельности Е.М. Румянцева давало положительный конечный результат. В 1982 году Е.М. Румянцев возглавил первую в Ивановском химико-технологическом институте отраслевую научно-исследовательскую лабораторию новых материалов и приборов электронной техники Министерства электронной промышленности, работавшую в тесном взаимодействии с заводом электролитических конденсаторов «Элеконд» (г. Сарапул) и занимавшуюся разработкой новых прогрессивных технологий анодного травления и формовки алюминиевой фольги для электролитических конденсаторов. Выполненные работы позволили значительно повысить удельные характеристики конденсаторов, уменьшить их габариты и снизить расход металла.

По инициативе Евгения Михайловича в 1984 г. в Институте химии неводных растворов АН СССР была организована лаборатория электрохимии, занимавшаяся разработкой неводных и водно-органических электролитов для размерной электрохимической обработки и электролитических конденсаторов, которой он руководил на протяжении семи лет. Как и учеными Кишинева, Новосибирска, Уфы, Липецка, сотрудниками лаборатории было доказано, что применение водно-органических растворов электролитов позволяет улучшить практически все показатели размерной электрохимической обработки – качество поверхности, производительность и точность формообразования. Проведенные исследования позволили разработать ряд новых электролитов для ЭХО титановых сплавов, циркония, гафния, медно-никелевых, вольфрамкобальтовых сплавов и др. Были разработаны новые составы рабочих электролитов на неводной основе для алюминиевых оксидных электролитических конденсаторов. В 1987 г. в составе авторского коллектива Е.М. Румянцев был удостоен звания Лауреата Государственной премии СССР за цикл работ «Разработка теоретических основ химии неводных растворов и их практическое использование».

Ивановская школа электрохимиков стала известна всей стране. В 1988 г. в Иванове прошла I Всесоюзная конференция по анодной электрохимической обработке. На конференции работало 5 секций: формирование оксидных слоев на металлах и исследование их физико-механических свойств; анодное растворе-

ние металлов и сплавов; электрохимическая размерная обработка металлов; электрохимическое полирование металлов; оптимизация процессов анодной обработки и другие виды электрохимической обработки материалов. В работе конференции приняли участие около 170 ученых и специалистов из более чем 70 организаций из 40 городов страны. Председателем оргкомитета конференции был академик Я.М. Колотыркин.

В конце 90-х начал регулярную работу Всероссийский семинар «Современные электрохимические технологии в машиностроении». В 1992 г. по инициативе Е.М. Румянцева в Ивановском химико-технологическом институте был открыт диссертационный совет со специальностью «Технология электрохимических процессов и защита от коррозии», который дал путевку в жизнь многим электрохимикам из Иванова, Кишинева, Уфы, Костромы, Новомосковска, Ярославля, Приднестровской республики. На протяжении ряда лет Е.М. Румянцев был председателем этого диссертационного совета, являлся членом редколлегии журнала «Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология», членом научного совета по электрохимии и коррозии РАН.

В последние годы своей жизни Евгений Михайлович не терял надежды на возрождение отечественной промышленности, активно убеждал руководителей предприятий в необходимости взаимодействия с вузовской наукой. И вновь добился своего. Организованный и возглавленный им Учебно-научно-производственный центр «Электрохимические технологии» начал интенсивно набирать опыт взаимодействия с промышленностью в новых экономических условиях, успешно привлекать средства предприятий для решения их научно-практических задач и проблем.

Отличительным качеством Евгения Михайловича было глубокое уважение к своим единомышленникам и по его любимой электрохимической обработке, и по работе в университете, желание рассказать о них людям. Все это нашло отражение в его книге «Чтобы знали и помнили» (1997 г.) [13], посвященной истории становления и развития технологии электрохимических методов обработки в СССР. Эта книга позволила сохранить память о людях, стоявших у истоков электрохимической размерной обработки.



Заслуги Е.М. Румянцева были по достоинству оценены государством и вузом: 1994 год – присвоение почетного звания «Заслуженный деятель науки и техники РФ» и избрание членом-корреспондентом Академии инженерных наук РФ; 1995 год – избрание действительным членом РАИН, награждение знаками «Почетный работник высшего профессионального образования» и «Почетный работник высшей школы». Имя Евгения Михайловича Румянцева увековечено на стенде «Химтеховцы, удостоенные государственных наград», и в портретной галерее ИГХТУ. Ему же в серии «Ученые университета» в рамках вузовского проекта «Наследие» посвящен библиографический указатель, изданный в 2010 году.

Самое главное – есть продолжатели многогранной деятельности Евгения Михайловича Румянцева, есть его ученики и последователи.

## 2.8. Анатолий Демьянович Верхотуров и дальневосточная научная школа электротехнологов



Анатолий Демьянович  
**ВЕРХОТУРОВ**  
(1936–2017)

Анатолий Демьянович Верхотуров – русский учёный-материаловед, организатор двух академических институтов, создатель научной школы в области электроискрового легирования (ЭИЛ) на Дальнем Востоке, основоположник нового этапа в развитии науки о материалах (НМ) – материаловедения, педагог, патриот своей страны.

Анатолий Демьянович являлся доктором технических наук (1984), профессором (1988), заслуженным деятелем науки РФ (1996), лауреатом премии им. Соболевского (1977), лауреатом премии Совета министров СССР

в области науки и техники (1986), членом-корреспондентом Академии электротехнических наук (1995), академиком Академии инженерных наук (1995), академиком Российской академии естественных наук (2003), академиком Академии минерального сырья (1996), действительным членом Международного научного общества «The Mineral, Metals and Materials Society» (TMS) США (1996).

Под научным руководством А.Д. Верхотурова подготовлены и защищены 7 докторских и более 20 кандидатских диссертаций. Анатолием Демьяновичем издано более 700 научных работ. Он входил в ТОП-100 российских учёных в области металлургии, имел 68 авторских свидетельств, 22 монографии; был членом редколлегии журналов «Электронная обработка материалов», «Порошковая металлургия», «Перспективные материалы», «Вестник Инженерной школы ДВФУ».

### **2.8.1. А.Д. Верхотуров – учитель, друг, соратник**

Скажи мне, кто твой друг, и я скажу, кто ты...

*Еврипид, Аттика, 480–406 гг. до н. э.*

Жизненный путь и творческая деятельность Анатолия Демьяновича Верхотурова, мотивированные его желанием внести свой личный вклад в благосостояние своего народа, исходили из советского послевоенного периода, на который пришлись его детские и юношеские годы и в которые формировалась его личность. Стремление противостоять силам зла, быть на стороне справедливости, приносить пользу и творить добро – ярко отражались в этом человеке.

С другой стороны, побудительным мотивом деятельности А.Д. Верхотурова был его природный ум, стремление к познанию жизни, законов природы. Все это в итоге привело его к тесным контактам с крупными учёными, которых он называл своими учителями: членом-корреспондентом Г.В. Самсоновым, академиками Б.Р. Лазаренко, В.И. Трефиловым, И.Н. Францевичем.

Многие его мысли о своём народе, развитии науки, совершенствовании образования, общественно-политического устрой-

ства нашей страны, зачастую, не вписывались в концептуальные установки чиновничьей номенклатуры.



**Учителя и старшие товарищи А.Д. Верхотурова (слева направо):  
член-корр. Г.В. Самсонов, академики Б.Р. Лазаренко,  
В.И. Трефилов, И.Н. Францевич**

Его труды знаменовали собой новый этап в развитии материаловедения, обозначили новое направление в её развитии. А.Д. Верхотуров глубоко продумал пути развития этой области знаний, и сформулировал предложения по развитию нового научного направления в создании и производстве материалов.

Родился Анатолий Демьянович Верхотуров 12 апреля 1936 г. в селе Отрадное Вяземского района Хабаровского края. После окончания школы поступил во Владивостокское высшее инженерно-морское училище, которое окончил в 1959 г. Затем он поступил в Киевский политехнический институт, который окончил в 1964 г. и был принят на работу в Институт проблем материаловедения АН УССР, где со временем работал старшим научным сотрудником, заведующим лабораторией. В 1971 г. защитил кандидатскую, а в 1984 – докторскую диссертацию на тему «Научные основы формирования легированного слоя и создания электродных материалов при электроискровом легировании». Он гордился своими учителями – академиком Б.Р. Лазаренко и членом-корреспондентом Г.В. Самсоновым и посвятил их памяти ряд трудов.

Создав по своей инициативе на Дальнем Востоке два академических института (Институт машиноведения и металлургии в Комсомольске-на-Амуре и Институт материаловедения в Хаба-

ровске), Анатолий Демьянович, тем самым, подготовил базу для выполнения фундаментальных научных исследований.



**А.Д. Верхотуров с другом Л.Ф. Прядко у памятника своему учителю Г.В. Самсонову. 2007 г.**

**Б.Р. Лазаренко (сидит) с молодыми учёными (слева направо) Н.Г. Андреевым, А.Д. Верхотуровым, В.С. Сычёвым. 1970 г.**

Обобщая и анализируя труды своих учителей и соратников, свой собственный опыт работы, А.Д. Верхотуров обнаружил, что исследования в области формирования поверхности выявили ряд вопросов и закономерностей, вытекающих из более общих проблем науки о материалах – материаловедения и, в частности, её подраздела – материаловедения поверхности. Анатолий Демьянович считал, что научное направление, связанное с углублённым изучением закономерностей формирования поверхности, он получил от Г.В. Самсонова и Б.Р. Лазаренко, которые сыграли ключевую роль в появлении нового направления в науке о материалах – материаловедения поверхности. Одним из объектов изучения в ней является формирование функциональных поверхностей с использованием метода Б.Р. Лазаренко – электроискрового легирования.

Изучая историю становления и развития науки о материалах, А.Д. Верхотуров совместно со своими соратниками и учениками, выделил в материаловедении несколько важных и взаимосвязанных направлений: материаловедения поверхности, минералогическая и энтропийно-экологическая материаловедения, классическое материаловедение, материаловедения производства. Далекое не случайно первым созданным им академическим институтом на Дальнем Востоке

был Институт машиноведения и металлургии. Дело в том, что материаловедение производства он отводил особую роль и уделял ей особое внимание. Он видел, что в процессе производства материальных благ сходятся и концентрируются результаты труда и познания многих наук, в том числе, наук о материалах.

Под научным руководством А.Д. Верхотурова защищено 7 докторских диссертаций (Бутуханов В.Л., Бабенко Э.Г., Фадеев В.С., Мулин Ю.И., Химухин С.Н., Ершова Т.Б., Николенко С.В.) и 20 кандидатских (Борисов А.Б., Зайцев Е.А., Сундуков А.М., Лебухова Н.В., Корчевский В.В., Конаков А.В., Чигрин Ю.Л., Штанов О.В., Емельянов В.Н., Бруй В.Н., Николенко С.В., Ершова Т.Б., Коваленко С.В., Козырь А.В., Глабец Т.В., Коневцов Л.А., Вишневецкий А.Н., Макаревич К.С., Шемигон В.И., Астапов И.А.).

Под его руководством подготовлены и другие диссертанты, у которых он считался консультантом, а по сути, был руководителем, и лишь с целью ускорения профессионального роста собственных высококвалифицированных кадров он передавал руководство уже практически завершённых исследовательских диссертационных работ своим ученикам, завершающим работу над докторскими диссертациями. До последних дней он являлся руководителем аспирантов, научным консультантом по двум докторским диссертациям, членом диссертационного совета, работал в качестве профессора в ДВГУПС, осуществлял научные проекты в совместных лабораториях с университетами ДВГУПС, КНАГТУ, ХГТУ.

В связи с началом научных работ по назревшим глобальным экологическим проблемам, связанным с получением новых материалов, А.Д. Верхотуров с 2009 года перешёл на работу главным специалистом в Институт водных и экологических проблем (ИВЭП ДВО РАН, г. Хабаровск).

Анатолием Демьяновичем издано более 700 научных работ, включая 68 авторских свидетельств и патентов на изобретения, 22 монографии. Он был членом редколлегий журналов «Электронная обработка материалов», «Порошковая металлургия», «Перспективные материалы», «Вестник Инженерной школы ДВФУ».

Научный путь Анатолия Демьяновича, круг его друзей, коллег и соратников определялись, главным образом, идеей продолжения научных исследований в направлении, полученном от своих учителей – академика Б.Р. Лазаренко и члена-корреспондента Г.В. Самсонова. Этот путь можно условно разделить на два периода: киевский и дальневосточный.

*Киевский период жизни и научного творчества* А.Д. Верхогурова связан, прежде всего, со становлением его, как учёного. При этом, решающую роль в его судьбе сыграл член-корреспондент АН УССР Г.В. Самсонов (1918-1975), заместитель директора по науке Института проблем материаловедения АН Украины, который пригласил его в аспирантуру, разглядев задатки будущего учёного, и впоследствии познакомил с академиком Б.Р. Лазаренко, будущим его научным консультантом по докторской диссертации.

В Институте проблем материаловедения АН УССР, в то время головной научной организации СССР по материаловедению, Анатолию Демьяновичу посчастливилось непосредственно общаться с рядом выдающихся учёных. Это академики: В.И. Трефилов, И.Н. Францевич, И.М. Федорченко, В.В. Скороход, а также П.С. Кислый, А.И. Райченко, Д.М. Карпинас, Г.Г. Карюк, Г.Г. Гнесин, М.М. Ристич и другие ученые, хорошо известные в научном мире. С большим уважением и теплотой Анатолий Демьянович вспоминал общение по совместной научной работе с киевскими учёными-материаловедами, среди которых были его друзья, доктора наук Б.А. Ляшенко, И.А. Подчерняева, М.С. Ковальченко. Деловые научные связи он поддерживал с д.т.н., проф. Б.Н. Золотых – специалистом по физике низковольтного электрического разряда в жидких диэлектрических средах, представителями кишинёвской научной школы – академиком и главным редактором журнала «Электронная обработка материалов» М.К. Бологой, д.х.н. А.И. Дикусаром, кандидатами наук А.Е. Гитлевичем, В.В. Михайловым, В.И. Ивановым, В.А. Михайлюком.

Своими друзьями он также называл материаловедов, докторов наук Л.Ф. Прядко, И.М. Муху, И.И. Тимофееву, А.Д. Панасюк, В.А. Лавренко, Г.А. Бовкун, С.З. Бакала, Е.А. Зайцева.



Слева направо  
 верхний ряд: доктора наук Б.А. Ляшенко, М.С. Ковальченко,  
 И.А. Подчерняева, Б.Н. Золотых, академик М.К. Болога;  
 нижний ряд: д.х.н. А.И. Дикусар и учёные электроискровики  
 А.Е. Гитлевич, В.В. Михайлов, В.И. Иванов, В.А. Михайлюк

*Дальневосточный период научной деятельности* Анатолия Демьяновича ведет отсчет с 1979 г. после ухода из жизни его учителя, академика Б.Р. Лазаренко. В этот период Анатолий Демьянович создавал базу для развития научной школы ЭИЛ на Дальнем Востоке. Для А.Д. Верхотурова дальневосточный период отличается наиболее интенсивным общением с учёными руководящего состава АН СССР и РАН. Этот период связан с организацией и становлением, при его непосредственном участии, Института машиноведения и металлургии в Комсомольске-на-Амуре (ИМиМ, открыт 12.07.1988 г.). Этот период также связан с наиболее значимым событием в его жизни – созданием Институтом материаловедения в Хабаровске (ИМ ХНЦ ДВО РАН открыт 01.10.1991 г.), в котором он планировал организовать и широким фронтом продолжить исследования в направлении создания новых материалов и покрытий.

В эту пору своей жизни Анатолию Демьяновичу приходилось обсуждать и решать рабочие вопросы с президентом АН СССР академиком А.П. Александровым; вице-президентом РАН акаде-

миком Г.А. Месяцем; Президентом РАН академиком Ю.С. Осиповым; президентом РАН академиком В.Е. Фортовым; академиками Б.Е. Патонем, Н.М. Жаворонковым, В.Н. Анциферовым и другими учеными. Он встречался и обсуждал проблемы развития материаловедения с академиками К.В. Фроловым, Н.П. Лавёровым, В.А. Акуличевым, Г.В. Смирновым, В.М. Бузником, В.А. Коптюгом, Ю.Д. Третьяковым, А.И. Холькиным, И.П. Дружининым, организатором и председателем президиума Хабаровского НЦ ДВО РАН. Н.П. Лякишевым; В.Л. Гинсбургом, В.Е. Паниным, В.П. Ларионовым, Ф.А. Кузнецовым, директором Новосибирского института неорганической химии. Практически со всеми из них Анатолий Демьянович находил взаимопонимание и имел не просто деловые, но и дружеские отношения.

На протяжении дальневосточного периода своей научной деятельности А.Д. Верхотуров поддерживал тёплые и дружеские отношения со многими академиками и членами-корреспондантами АН СССР и РАН и директорами академических институтов ДВ. Ряд научно-организационных задач Анатолию Демьяновичу удавалось решать за счёт тесного контакта и добрых, деловых отношений с ректорами высших учебных заведений ДВ. Среди них: В.М. Власенков, ректор КнАПИ (1982–1992); Ю.Г. Кабалдин, ректор КнАГТУ (1992–2007); А.М. Шпилёв, ректор КнАГТУ (2007–2013) и Э.А. Дмитриев, ректор (с 2014 г.); В.К. Булгаков, ректор (1987–1998) Хабаровского государственного политехнического института (ХГПИ) и ректор (1998–2002) Хабаровского государственного технического университета (ХГТУ); С.Н. Иванченко, ректор ХГТУ с 2002 г. и ТОГУ с 2005 г.

А.Д. Верхотуров решал научные вопросы со многими докторами и будущими докторами наук, одним – помогая доброжелательно и бескорыстно в их становлении в качестве учёных, другие – были просто его друзьями, с которыми приходилось советоваться и обсуждать научные проблемы. Это заслуженные деятели науки РФ П.С. Гордиенко, М.М. Михайлов, А.И. Евстигнеев, В.А. Лашко, Ри Хосен, доктора наук: В.Л. Бутуханов, В.И. Одиных, В.А. Ким, Э.Г. Бабенко, В.А. Секисов, М.Е. Аблесимов, В.В. Виноградов, А.П. Кузьменко, Б.Я. Мокрицкий, В.С. Фадеев, Ю.А. Мамаев, И.Ю. Рассказов, Л.А. Резниченко, В.А. Забродин В.А., В.А. Иванов, С.И. Клепиков, В.М. Давыдов, В.Ф. Бойко,



В.М. Макиенко, З.Г. Мирзеханова и многие другие его друзья и соратники.

Решение ряда неотложных организационных вопросов для А.Д. Верхотурова зачастую не вызывало больших затруднений, так как он имел хорошие дружеские отношения и находил общий язык со многими влиятельными лицами. Среди них д.х.н., министр РФ Г.А. Ягодин, первый секретарь Хабаровского крайкома КПСС А.К. Чёрный, секретарь Хабаровского Крайкома В.С. Пастернак, председатель горисполкома г. Комсомольска-на-Амуре (1989-1991 гг.) к.т.н. Ю.Ф. Матвеев, работник отдела науки Крайкома КПСС д.ф.-м.н. А.П. Кузьменко».

Высокая научная активность, исключительная работоспособность и коммуникабельность сделали Анатолия Демьяновича заметным учёным. В период работы на Дальнем Востоке, он поддерживать связи и плодотворно сотрудничал после развала СССР с друзьями и соратниками по науке в странах, поневоле оказавшихся зарубежными. Он продолжал сотрудничество и поддерживал отношения по ЭИЛ с коллегами из Украины, Молдовы, Германии, Сербии, Белоруссии.

С глубоким уважением к нему относились многие учёные и коллеги из различных городов нашей страны. Из Москвы – заведующий кафедрой порошковой металлургии и покрытий, директор Научно-учебного центра СВС МИСиС д.т.н. Е.А. Левашов; лауреат Ленинской премии, старейший из «электроискровиков» бывший главный конструктор электроискрового оборудования электронной промышленности, основатель прецизионного электроискрового машиностроения к.т.н. Б.И. Ставицкий (1927 г.р.); другие учёные, занимающиеся электроискровым легированием, такие, как друг и соратник, к.т.н. В.И. Иванов, заведующий лабораторией ВИМ, д.т.н., директор ГОСНИТИ Ф.Х. Бурумкулов.

Из Перми – академик В.Н. Анциферов, дальневосточник, основатель и руководитель Научного центра порошкового материаловедения (НЦ ПМ) ГОУ ВПО. В Томске добрые товарищеские отношения Анатолий Демьянович поддерживал с академиком В.Е. Паниным, основателем физической мезомеханики и Института физики прочности и материаловедения СО РАН и его сыном д.т.н. С.В. Паниным; с заведующим Лабораторией радиационного и космического материаловедения, заслуженным деятелем науки

и  
я  
й  
а  
е  
и

РФ, д.т.н., профессором М.М. Михайловым. Большое количество друзей и соратников Анатолия Демьяновича связано с Комсомольском-на-Амуре, где был создан при его участии Институт машиностроения и металлургии. С ИМиМ, связаны имена многих его друзей. Это член-корр. РАН А.А. Буренин, заслуженный деятель науки РФ, д.т.н. В.М. Козин, ученик Анатолия Демьяновича, д.т.н. В.С. Фадеев, заслуженный изобретатель РФ И.Г. Сапченко, заместитель директора ИМиМ по научной работе Н.С. Ловизин, к.т.н. В.П. Балов, ученики Анатолия Демьяновича кандидаты наук Е.Н. Емельянов, А.В. Конаков, Ю.Л. Чигрин, О.В. Штанов.

До последних дней он поддерживал дружеские отношения с друзьями и соратниками из КнАГТУ. Это доктора наук А.И. Евстигнеев, А.М. Шпилёв, А.В. Ким, Б.Я. Мокрицкий, В.И. Муравьёв, А.В. Космынин, О.В. Башков, М.Ю. Сарилов, Б.Н. Марьин, В.В. Петров, многие другие.

Владивосток для Анатолия Демьяновича являлся особым городом. В этом городе он в 23 года окончил Владивостокское Высшее инженерное морское училище. До конца своих дней он продолжал сотрудничество с Владивостокскими друзьями. Это, прежде всего, д.т.н. П.С. Гордиенко, заслуженный деятель науки, лауреат премии Правительства РФ, заведующий лабораторией защитных покрытий и морской коррозии. В лаборатории П.С. Гордиенко и сегодня занимаются исследованием состава, структуры и свойств электроискровых покрытий, развивают физические представления о процессах электроискровой обработки материалов в среде электролитов. Разрабатываемый здесь с 1983 г. метод микродугового оксидирования (МДО) металлов и сплавов, по своей сути являющийся разновидностью метода, предложенного Б.Р. и Н.И. Лазаренко, позволяет формировать сложные по составу защитные покрытия с химическими элементами из электролита. Надо сказать, что Павел Сергеевич – настоящий и преданный друг Анатолия Демьяновича. Обеспокоенный ухудшением его здоровья, он, отбрасывая все дела, срочно прилетал из Владивостока в Хабаровск с целью активизировать оказание врачебной помощи с привлечением лучших врачей.

Из Благовещенска – это, прежде всего д.т.н. Б.А. Виноградов, ректор Благовещенского технологического института, доктора наук: Н.С. Костюков, А.Д. Плутенко, Е.С. Астапова, Е.А. Ванина,

ученики Анатолия Демьяновича: декан инженерно-физического факультета АмГУ, заведующий лабораторией обработки материалов концентрированными потоками энергии к.т.н. В.А. Козырь, заведующая кафедрой, к.т.н. Т.В. Глабец.

Из Якутска – это председатели ЯНЦ СО РАН академик В.П. Ларионов (1992-2002), члены-корреспонденты Ю.С. Уржумцев, А.Ф. Сафронов, М.П. Лебедев; лауреат премии Правительства РФ, президент центров «Сварка» и «Диагностика» О.И. Слепцов.

Хабаровск – этот город стал его родным городом, когда 1 октября 1991 г. Президиум ДВО РАН принял решение о создании Института материаловедения Хабаровского НЦ ДВО РАН. «Судьбы свершился приговор» – сказал Анатолий Демьянович, когда, наконец-то, утвердили штатное расписание, появились рабочие места, и была создана база для научных исследований.

Сегодня практически все работники Института материаловедения ДВО РАН считают, что Анатолий Демьянович предопределил их судьбу – работать в этом институте, которому, по сути, следует дать имя А.Д. Верхотурова. Такого мнения придерживаются практически все сотрудники и руководство института. Это директор института д.т.н. С.В. Николенко, защитивший докторскую диссертацию по ЭИЛ: «Повышение эффективности применения функциональных электроискровых покрытий на сталях и титановых сплавах путём создания электродных материалов с минеральными и самофлюсующимися добавками», заместитель директора, д.т.н. С.Н. Химухин (докторская диссертация по ЭИЛ: «Разработка научных основ формирования изменённого слоя на металлах и сплавах с заданными свойствами при низковольтной электроискровой обработке»).

Вспоминая об Анатолии Демьяновиче, д.т.н. С.Н. Химухин рассказывал, что А.Д. Верхотуров был его консультантом по диссертационной работе и при ее защите выступил с довольно оригинальной речью. Смысл ее заключался в том, что основной своей задачей, как консультанта, он считал «не мешать» выполнять работу Химухину С.Н. самостоятельно. Эти слова несколько удивили, но спустя некоторое время, я понял его правоту, – сказал С.Н. Химухин – руководитель (консультант) научной работы в большей или меньшей степени корректирует и направляет ис-

следования соискателя в соответствии со своими представлениями и опытом, что не всегда идёт на пользу росту самостоятельности учёного. Поэтому талант руководителя заключается в определении тех случаев, когда «политика невмешательства» наиболее продуктивна.

По словам старшего научного сотрудника нашего института к.т.н. Кузьмичёва Е.Н., серьёзный научный подход Анатолия Демьяновича и строгое отношение к науке заражали и подбадривали. Начиная от выбора темы, до окончательного завершения работы А.Д. Верхотуров обеспечивал чуткое руководство и неустанно поддерживал научные исследования. Меня – сказал он, – всегда поражали его энциклопедические знания, порой в областях, казалось бы, далёких от тематики наших исследований, но при пристальном рассмотрении, связанных с ними.

Старший научный сотрудник к.т.н. Макаревич К.С., говоря о своём руководителе А.Д. Верхотурове, сказал, что от многих других людей его положения и статуса, он отличался тем, что, невзирая на чины и звания, равно и ровно общался, как с академиком, так и с аспирантом. Этот человек умел порадоваться успехам и достижениям других, как своим собственным. К этому у него были весьма веские основания, ведь список людей, которые с его подачи состоялись, как научные специалисты, никак нельзя назвать коротким.

Сегодня молодые учёные ИМ ХНЦ ДВО РАН с уважением и благодарностью вспоминают об Анатолии Демьяновиче. Говоря о личных качествах Анатолия Демьяновича, они отмечают, что их рабочие места сегодня – это результат напряжённой борьбы А.Д. Верхотурова за создание академического института 30-40 лет назад. Его квалифицирую, как грамотного хозяйственного руководителя института, с которым комфортно было работать, так как он оперативно и самостоятельно принимал верные управленческие решения, всегда был доброжелательным, способным слушать и понимать. Под его руководством коллектив был дружным и сплочённым, он всегда находил время для каждого сотрудника, особенно, если это касалось непосредственно работы.

Много тёплых слов в его адрес было сказано от участников состоявшихся Первых научных Верхотуровских чтений, посвящённых в основном его трудам в области электроискрового леги-

рования, в организации которых важную роль сыграли друзья и ученики А.Д. Верхотурова, доктора наук Б.Я. Мокрицкий (КнАГТУ) и С.А. Пячин (ДвГУПС). Он очень многим оказал научную поддержку и консультативную помощь в становлении, как личности, в научной и других сферах жизнедеятельности. Научный сотрудник нашего института, к.т.н. Власова Н.М., вспоминая о нём, сказала, что он был удивительно добрым и сердечным человеком, тактичным и уравновешенным, который всегда рад был помочь, и с которым всегда можно было обсудить научные вопросы. С большим уважением Анатолий Демьянович относился к старейшим работникам, имена которых связаны с периодом создания и становления ИМ ХНЦ ДВО РАН. В Хабаровске Анатолий Демьянович продолжал активное научное сотрудничество с коллегами и друзьями из академических и учебных институтов города.

Следует сказать, что многие годы А.Д. Верхотуров предполагал связать будущее направление работы Института материаловедения ХНЦ ДВО РАН не только с дальнейшим развитием практических и теоретических аспектов в области электроискрового легирования, но и с развитием общих вопросов, теоретических основ науки о материалах. Он впервые заметил и описал новый этап развития науки о материалах, который назвал материаловедением, показал её разделы, что является отдельной и важной стороной его научной деятельности.

Анатолий Демьянович принадлежит к тем представителям мировой научной элиты, которые на протяжении всей своей жизни стремились изучать и постигать новое, никем доселе неизведанное, манящее глубиной познания и смыслом реализации в достижении конечной цели. А достигнув её, снова идти дальше, раздвигая границы мировой научной мысли в работе с единомышленниками.

## 2.8.2. А.Д. Верхотуров и материаловедение поверхности – новое направление в развитии науки о материалах

Вот когда ты поймешь, что гладкая асфальтированная дорога знаний кончилась, а началось бездорожье, по которому ты должен прокладывать путь самостоятельно, и если тебя это не испугало, а наоборот, прибавило решимости, – вот тогда ты можешь считать, чтоходишь в науку.  
Вот тогда начинается учёный

  
Академик Б.Р. Лазаренко

Анатолий Демьянович Верхотуров – русский учёный-материаловед, заслуженный деятель науки, практически всю свою жизнь посвятил исследованию метода электроискровой обработки материалов, метода, предложенного Б.Р. и Н.И. Лазаренко, – «русского» метода, как его называли за рубежом [12, 110–111].

А.Д. Верхотуров является создателем научной школы в области электроискрового легирования (ЭИЛ) на Дальнем Востоке, основоположником нового этапа в развитии науки о материалах – материаловедения, организатором двух академических институтов.

В воспоминаниях о своём детстве он рассказывал, как пережил горькую утрату своего отца в период Великой Отечественной войны. Вследствие чего, в послевоенное время, будучи ещё ребёнком, он с особой ценностью относился к окружающим, стремящимся противостоять силам зла, чтобы делать добро. Побудительным мотивом деятельности А.Д. Верхотурова был его пытливый ум, стремление осознать своё время и место в истории, философские понятия и установки жизни. На протяжении всего своего творческого пути он систематически продолжал поиск ответов на вопросы о вечности, времени, сути бытия, направлении жизни и осознания в ней своего места, места учёного. Он постоянно искал ответ на вопрос, что делать, и как удавалось великим людям прошлого творить великие дела во благо человечества.

Анатолий Демьянович глубоко переживал, когда врагам народа удалось развалить первую в мире Советскую страну, в которой провозглашались идеи народной справедливости, созидания материальных и духовных благ, а не наживы одних за счёт

других... В период научного становления, подготовки защиты кандидатской, а затем докторской диссертаций, его убеждения в правоте выбранного курса были подкреплены выбором направления деятельности, полученного в результате тесного общения и обсуждения проблем с его учителями – Г.В. Самсоновым и Б.Р. Лазаренко. Они и определили вектор научной деятельности А.Д. Верхотурова – поиск путей исследования и создания новых материалов и покрытий, необходимых для общественного производства.

Однажды, после просмотра одного из ведущих междисциплинарных журналов по науке о материалах «Journal of the minerals metals & materials society» (JOM) [112], ученик Анатолия Демьяновича, к.т.н. Л.А. Коневцов принёс ему опубликованный в 2006 г. «Список-100» наиболее важных событий и людей, повлиявших на развитие наук о материалах». Список был утверждён путём голосования на встрече материаловедов общества «TMS» в Орландо (США, 4200 присутствующими из 68 стран).

Этот список произвёл на Анатолия Демьяновича глубокое впечатление. В «Списке-100» от нашей страны был представлен лишь один человек – член-корреспондент Петербургской Академии наук Д.И. Менделеев (рис. 2.3), который после повторных голосований вошёл сначала в «Список-50», затем «Список-10» [113], а затем оказался первым величайшим учёным Земли, внесшем наиболее существенный вклад в развитие науки о материалах. Данные о результатах признания этого события опубликованы также в журнале «Химия и жизнь» [114].

«Список» охватил период развития человеческой цивилизации за 30 тыс. лет (28 тыс. лет до н. э.), поэтому, его анализ представлял значительный интерес. События в «Списке» являются вехами становления и развития науки о материалах и фундаментом построения будущих её этапов. Они показывают вектор развития, являются базой прогноза, разработки перспективных направлений и исследований по созданию материалов с требуемыми функциональными свойствами, а также позволяют оценить вклад отдельных учёных в сокровищницу мировой науки о материалах.



*Рис. 2.3. Учёные, с именами которых связано появление научных парадигм и этапов в становлении и развитии науки о материалах*

Это натолкнуло Анатолия Демьяновича на мысль о том, что перспективные направления, вытекающие из анализа «Списка-100», должны стать составными частями нового этапа в развитии науки о материалах, а по сути – новой фундаментальной науки – материалогии, основные положения которой предложены им в 2004 г. [115]. Анализируя фундаментальные основы новой зарождающейся науки, А.Д. Верхотуров изучил и дополнил подходы к оценке отдельных этапов развития науки о материалах, одним из которых была теория Т. Куна [116] о парадигмальном развитии наук. Эту теорию Анатолий Демьянович использовал и дополнил при разработке принципиальных положений основ становления материалогии, предложив понятие парадигмального подхода [117]. Поэтому, информацию, заложенную в содержание «Списка», по нашему мнению, также следует дополнить с учётом вклада учёных в развитие парадигмального подхода в науке о материалах.



А.Д. Верхотуровым была предложена следующая схема формирования науки о материалах: «идея→ инкубационный период→ практические парадигмы→ научные парадигмы» [117]. Было очевидно, что в «Списке» не учтён парадигмальный подход, а также отсутствовали основополагающие данные о влиянии на развитие наук о материи, материале, «вещи» вклада древнегреческих учёных и, прежде всего, Демокрита, Аристотеля, Феофаства, Левкиппа. Древнегреческий период, рассматриваемый с высоты нашего времени как инкубационный, характеризуется в науке о материалах периодом становления и развития практической и познавательной идей.

Сама идея парадигмального подхода содержала в себе ряд общепринятых идей. Так, многие столетия существовала идея алхимического направления, основанного на возможности превращения одного элемента в другой. Затем появилась «атомная» парадигма Демокрита и «стихийная» (Платона-Аристотеля). Далее – идея создания «вещи» – «основы бытия» (парадигма Аристотеля): «первоматериал→ энергия→ интеллект→ форма→ вещь», которая до сих пор не получила необходимого развития применительно к современным условиям получения «вещи». При этом алхимическая идея продолжала существовать столетия, она впервые была реализована в 1919 г. Э. Резерфордом, выполнившим первое искусственное превращение элементов (азота в кислород). Таким образом, первыми парадигмами в истории развития знаний о материи и материалах были, последовательно, познавательно-практические парадигмы Демокрита и Аристотеля, и их имена следовало бы внести в «Список».

А.Д. Верхотуров видел, что без идей инкубационного периода, рождённых древнегреческими мыслителями Демокритом, Аристотелем, Феофаством, Левкиппом, как и без идей парадигмального подхода научного периода русских учёных М.В. Ломоносова, Д.И. Менделеева, П.Г. Соболевского, Д.К. Чернова, Н.С. Курнакова, В.И. Вернадского, Б.С. Балакшина, И.В. Тананьева, Г.В. Самсонова, В.И. Коптюга – невозможно рассматривать становление и развитие науки о материалах. Анатолий Демьянович сразу заметил, что в «Списке-100» нет сведений о ряде эпохальных событий: появлении порошковой металлургии П.Г. Соболевского (1827 г.), нет упоминаний о парадигмах Н.С. Курна-

кова (1906 г.), И.В. Тананаева (1939 г.), Г.В. Самсонова (1975 г.); о создании электроискровой обработки Б.Р. Лазаренко (1943 г.).

Включение в «Список» «парадигмы Совье», который в 1912 г. опубликовал результаты исследований железоуглеродистых сплавов по схеме «процесс→ структура→ свойства», с утверждением о том, что она «является главной парадигмой материаловедения» — является спорным. Дело в том, что материаловедению более соответствует парадигма Г.В. Самсонова «состав→ технология→ структура→ свойства» (табл. 2.2). Парадигма Самсонова действует и сегодня параллельно с парадигмой нового этапа в развитии науки о материалах — материаловедению. Тем более, что сам А. Совье в своей монографии назвал русского учёного Д.К. Чернова, отцом металлургии, который до него исследовал схему «процесс→ структура→ свойства», впервые установил полиморфические превращения сталей и открыл критические точки фазовых превращений («точки Чернова»). Выводы Д.К. Чернова, а позже и А. Совье, скорее явились предтечей парадигмы И.В. Тананаева «состав→ структура→ свойства». А *первой научной парадигмой в науке о материалах* является парадигма Д.И. Менделеева, которая появилась задолго до А. Совье.

В своё время Д.И. Менделеевым был совершён величайший научный подвиг — прорыв в науке о материалах, который обозначил научный подход в прогнозировании свойств материалов. С именем Д.И. Менделеева появилась первая концептуальная основа, модель постановки проблем и их решений — *парадигма Менделеева*: «химический состав элементов→ свойства». В работе «Общий характер диалектики как науки» Ф. Энгельс писал, что Д.И. Менделеев «совершил научный подвиг» (Архив К. Маркса и Ф. Энгельса, кн. 2-я, с. 227). Даже оппозиционер Л. Троцкий в докладе IV Менделеевскому съезду 17.09.1925 г. признал: «Логика Периодической системы, хотя и перестроенной в дальнейшем, оказалась сильнее консервативных ограничений, которые хотел в неё внести её собственный творец.

Через Периодическую систему Менделеева, химию радиоактивных веществ диалектика празднует свою самую замечательную победу!» («Химия и жизнь», 2009, № 2). Первая научная парадигма Д.И. Менделеева появилась и была признана в 1869 г., в 2019 году мы отмечаем её 150-летие. Таким образом, научный

период был ознаменован появлением научных идей парадигмального подхода в науке о материалах, которые были впервые замечены Анатолием Демьяновичем.

*Второй* стала научная парадигма Д.К. Чернова «структура→ свойства» (табл. 2.2). Идея второй парадигмы закладывалась в первых работах исследования под микроскопом структур металлов М.В. Ломоносовым (1741-1743 г.) [119]. Однако систематические исследования структуры сталей была выполнены Д.К. Черновым и позже Г.К. Сорби.

*Третьей* общепризнанной парадигмой стала парадигма основателя физико-химического анализа Н.С. Курнакова: «состав вещества→ свойства» (табл. 2.2), но уже не элементов, а соединённых [120]. При дальнейшем развитии науки о материалах появилось множество диаграмм состояний, позволяющих прогнозировать многие свойства соединений. Детальное исследование железоуглеродистых сталей показало, что на их свойства значительное влияние оказывает микроструктура, кристаллическая структура и так далее.

В 1939 г. академиком И.В. Тананаевым [121] была предложена очередная (*четвёртая*) трёхзвенная парадигма «состав→ структура→ свойства» (табл. 2.2), которая долгое время была основополагающей в материаловедении. Однако все предыдущие парадигмы были направлены на изучение веществ и материалов, на знания их потребительских свойств. К 70-м годам прошлого века резко обозначился вопрос не только изучения материалов и повышения их свойств, но и создания технологий получения принципиально новых материалов. Решение этого вопроса было отражено в новой и последней (*пятой*) парадигме материаловедения Г.В. Самсонова [122]: «состав→ технология→ структура→ свойства». Следует заметить, что ещё в трудах М.В. Ломоносова [119] прослеживается использование идеи этой парадигмы, но поднять её до уровня общепринятой удалось лишь учителю Анатолия Демьяновича – Г.В. Самсонову. Эта парадигма ознаменовала собой заключительный этап в развитии материаловедения и явилась базой нового направления в развитии науки о материалах – материаловедения поверхности.

## Парадигмы научного периода в развитии науки о материалах

Год	Автор	Содержание
1869 г.	Менделеев	«Химический состав элементов→ свойства»
1878 г.	Чернов и Сорби	«Структура→ свойства»
1906 г.	Курнаков	«Состав вещества→ свойства»
1939 г.	Тананаев	«Состав→ структура→ свойства»
1975 г.	Самсонов	«Состав→ технология→ структура→ свойства»
2006 г.	Верхотуров	«Функциональное назначение материала изделия→ состав исходного сырья→ технология ЦКВМ <sup>(Э)</sup> → структура→ свойства материала изделия»*

\*ЦКВМ<sup>(Э)</sup> – циклический круговорот вещества и материалов во «второй природе» при минимальной энтропии [117, 118].

В развитие парадигмы Г.В. Самсонова в основанном А.Д. Верхотуровым Институте материаловедения ХИЦ ДВО РАН была предложена *новая парадигма* науки о материалах – материалоги (2006 г.): «функциональное назначение материала изделия→ состав исходного сырья→ технология ЦКВМ<sup>(Э)</sup>→ структура→ свойства» (табл. 2.2) [123]. Благодаря трудам крупного русского учёного-машиностроителя, д.т.н., проф. Б.С. Балакшина [124] в формулировке парадигмы материалоги появился признак функционального (служебного) назначения материала, изделий, средств деятельности, включая методологию [125, 126], в которой разрабатывается и уточняется этот признак [127, 128].

Следует отметить, что появление нового, материалогического этапа в развитии науки о материалах, связано с учётом энтропийно-экологического фактора [129] с именами других русских учёных, прежде всего: А.П. Александрова, В.И. Трефилова, Н.М. Жаворонкова, Я.Д. Вишнякова, Е.И. Богданова, Ю.В. Цветкова, Ф.Д. Ларичкина, Б.А. Воронова. При этом предполагается использование новых технологий, не создающих глобальных проблем человечеству, что способствует объединению ряда наук по решению материалогических проблем в единую науку о материалах, учитывающую энтропийно-экологический фактор.

Новая парадигма охватывает все науки о материалах (и их разделы) объединяет их в одну, способную объединить теорию и

практику создания материалов и покрытий с заданными свойствами, изделий, средств деятельности с функциональными исполнительными поверхностями (рис. 2.4). При этом реализуется цепочка «дуги Ломоносова» [130] от геофизики, геологии, горного дела до металлургии, физикохимии, экологии и других наук, связанных с преобразованием материалов, которые являются основной направлением развития цивилизации – разумного преобразования природы с целью производства материалов и средств деятельности из них (создания материальных благ).

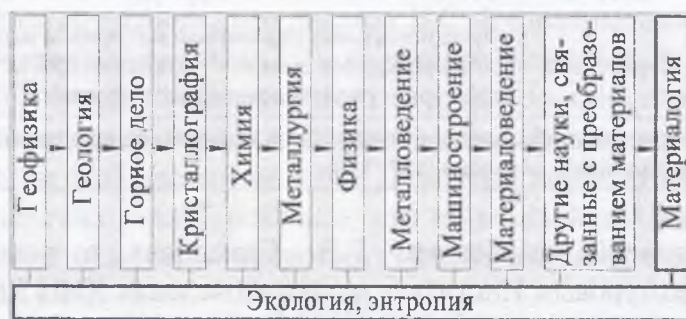


Рис. 2.4. Объединение ряда наук о материалах с решением энтропийно-экологических проблем биосферы Земли

Анатолий Демьянович прозорливо заметил, что в настоящее время развитие науки о материалах требует изменения вектора не только её развития, но и всей науки [131]. Объектом исследования материалогии дополнительно, стало исходное минеральное, растительное сырьё и отходы. Это привело к формированию новых её разделов [132]: материалогии поверхности, объёмных материалов, минералогической, производства, отходов, энтропийно-экологической, т.д. При этом получение материалов и средств деятельности изучается с учётом производственно-экологического циклического круговорота вещества и материалов во «второй природе» [117], как её называл ещё Цицерон, – природе, преобразованной и творимой руками человека.

*На современном этапе развития человечества заключительным звеном преобразования материалов в требуемые средства деятельности является производство, машиностроение, и ему должны быть подчинены все предыдущие звенья циклического круговорота [117, 118].*

С учётом «Списка-100», развития и применения парадигмального подхода к науке о материалах необходимо, по нашему мнению, имя А.Д. Верхотурова включить в «Список». При этом работа над «Списком» должна быть продолжена. Обоснованное появление в этом «Списке» имени А.Д. Верхотурова обусловлено прозорливым описанием им, впервые в истории науки о материалах, нового этапа её становления и развития. Описанное А.Д. Верхотуровым новое направление в науке о материалах – материалогии – всё больше осознаётся человечеством, что, по нашему мнению, можно приравнять к научному подвигу, навеки обессмертившему его имя.

Однако в последние годы А.Д. Верхотуров предчувствовал возможность иного сценария распространения учения о материалогии – возможного присвоения идеи этого учения исследователями зарубежных стран без упоминания учёных России, результаты деятельности которых, как правило, резко принижаются за рубежом. В Германии, например, эта идея развивается и широко обсуждается в настоящее время как «Интегральное материаловедение» (Е. Хорнбёген, Е. Вернер, Г. Еггелер). В Индии профессор, доктор Канни Радж (А. KanniRaj) опубликовал книгу *Materialogy*, а также ряд других трудов по материалогии: *Materialogy – Structure, Properties; Materialogy and Nanotechnology*. В Китае материалогия становится изучаемой дисциплиной и специальностью, по материалогии присуждается учёная степень бакалавра, магистра, доктора наук (г. Шанхай, Восточно-китайский университет науки и техники); в Тяньцзиньском Политехническом Университете открыта аспирантура и докторантура по материалогии. В США и странах ЕЭС, например в Англии, быстрыми темпами развивается раздел материалогии отходов под названием «рециклинг». При этом нигде не упоминаются труды о материалогии А.Д. Верхотурова. Даже в родном для А.Д. Верхотурова Институте материаловедения ХНЦ ДВО РАН руководство в период последнего 10-летия (до июля 2019 г.) не поддерживало развитие материалогии.

Причиной тому, в отличие от древнегреческой науки, направленной на познание законов природы, «ломоносовской» науки, направленной на благо народа России, сегодня является подчинённость планам олигархической «элиты» нашей страны,

которая видит назначение науки в обслуживании своих интересов. Налажена позорная система поощрения отправки за рубеж научных плодов труда учёных России. Противоестественное направление российской науки на обслуживание зарубежных интересов, *остроумно навязывается через систему поощрений глобальных индексов цитирования Scopus и Web of Science*. К тому же результату приведёт и дифференциации науки о материалах – дроблению её исследований на частные направления, а не на объединение и интеграцию в единую науку о материалах – материаловедению, о чём сожалел Анатолий Демьянович.

Тем не менее, материаловедение в нашей стране находит поддержку в ряде институтов и научных организаций. Становится всё более очевидным, что развитие нового этапа науки о материалах и её разделов неизбежно. Вопрос ставится так: либо, в интересах сохранения будущего нынешней цивилизации изменить существующий вектор развития науки о материалах (ныне направленный, на интересы транснациональных корпораций), глубоко осознать новую парадигму материаловедения и направить научные исследования во благо народа, – либо не учитывать появление нового этапа её развития, энтропийно-экологический фактор, что грозит гибелью цивилизации, так как ошибки, допущенные на начальном этапе становления и развития материаловедения, в будущем станут неисправимыми.

На основании своих работ и анализа литературных данных А.Д. Верхотуров дал собственное определение «материаловедению», обозначив основные задачи и стратегические направления дальнейших исследований. Он показал совместно с соавторами (Б.А. Вороновым, А.М. Шпилёвым, А.И. Евстигнеевым, Л.А. Ковневцовым), что материаловедение должно состоять из нескольких разделов. Например, целью и задачей *минералогической материаловедения* является получение материалов из минерального сырья в регионе его добычи, в том числе из растительного сырья, отходов. *Материаловедение поверхности* должно изучать процессы создания поверхностей, отвечающих своему функциональному назначению, *энтропийно-экологическая материаловедение* – сосредоточиться на продолжении жизнедеятельности цивилизации в условиях ускоренного производства продуктов жизнедеятельности человека на Земле и освоении других планет.

Поэтому, в «Список-100» следует внести изменения. По нашему мнению, «Список» необходимо дополнить именами Д.К. Чернова, Н.С. Курнакова, И.В. Тананаева, Г.В. Самсонова, Б.Р. Лазаренко и А.Д. Верхотурова, внесших существенный вклад в развитие науки о материалах. Появление в «Списке» имени Д.И. Менделеева было обусловлено созданием Периодического закона химических элементов. А появление имён Г.В. Самсонова, Б.Р. Лазаренко и А.Д. Верхотурова может быть обусловлено появлением новой парадигмы (Самсонова), нового метода обработки материалов (метода Лазаренко) и появлением впервые в истории науки о материалах – нового её этапа – материалогии (Верхотурова), в том числе материалогии поверхности.

Таким образом, не только имена Г.В. Самсонова и Б.Р. Лазаренко непременно должны войти в «Список-100» людей и событий, оказавших существенное влияние на развитие науки о материалах, но и имя А.Д. Верхотурова, как автора, впервые осознавшего и описавшего появление нового этапа в развитии науки о материалах. Появление и развитие материалогии, как нового направления в науке о материалах, всё больше осознаётся учёными, прогрессивным человечеством.

Следует заметить, что изучение поверхности в современной науке о материалах всё отчётливее выделяется в самостоятельный раздел. Во-первых, удивительно, но признак поверхности или его аналог является неотъемлемым для всех средств деятельности (микро- и макро-конструкций), как созданных природой, так и преобразованных человеком. Поэтому, поверхность рассматривается практически во всех науках от географии до микробиологии, от математики до астрофизики. Во-вторых, состав, структура и многие свойства объёмных материалов в науке в большинстве случаев изучаются путём исследования состава, структуры и свойств его поверхностей. Для этого выполняют срезы, различного рода сечения объёмного материала, получают шлифы, полируют их и по исследованию вновь полученных поверхностей образцов, используя вдавливания инденторов, рент-

---

\* Под поверхностью условно принимается видимая (невооружённым глазом или с помощью приборов) поверхность и прилегающие к ней слои с изменёнными, в отличие от основы, составом, структурой и свойствами в результате различного рода граничных воздействий.



гено-металлографические и другие методы, судят о свойствах объёмного материала: износостойкости, твёрдости, электропроводности и так далее.

Материаловедение поверхности представляет собой учение о поверхности материалов, поверхностях различных средств деятельности, полученных из материалов, как природных, так и синтезированных. В отличие от материаловедения, в материаловедении поверхности для получения новых материалов и покрытий предполагается комплексный подход, в том числе использование нетрадиционного исходного сырья, а выбор технологий должен быть обусловлен энтропийно-экологическим фактором [129, 133]. Выделению материаловедения поверхности в отдельный подраздел способствует также значительный интерес к изучению поверхности изделий и стремительное развитие производственных технологий формирования покрытий исполнительных поверхностей изделий, среди которых особое место занимает ЭИЛ. Материаловедение поверхности в совокупности с подразделом материаловедения объёмных и порошковых материалов, составляет раздел экспериментально-теоретической материаловедения и, естественно, она связана с разделом материаловедения производства. Материаловедение поверхности является одним из наиболее важных подразделов материаловедения, с позиций которой используемые методы получения исполнительных поверхностей, в том числе электроискровые, должны отвечать новому вектору развития науки о материалах.

Так как поверхность является неотъемлемым признаком любого средства деятельности, то её изучение вызывает всё больший научный и практический интерес. Поэтому формирование материаловедения поверхности, в настоящее время происходит одновременно при изучении поверхности многими отдельными науками. Одним из актуальных вопросов в материаловедении поверхности является изучение формирования покрытий исполнительных поверхностей деталей машин, в том числе и методом Б.Р. Лазаренко – ЭИЛ, к которым, исходя из их функционального назначения, предъявляются всё более жёсткие эксплуатационные требования по твёрдости, износостойкости, жаростойкости. При этом поверхность рассматривается как один из всеобщих признаков средств деятельности, созданных природой, либо человеком [134]. Отсутствие комплексного подхода в материаловедении поверх-

ности, нового вектора в развитии науки [131], энтропийно-экологического фактора [129, 131, 135, 136] уже сегодня ставят под сомнение правильность курса науки, в частности, материаловедения, как уходящего в прошлое этапа развития науки о материалах, на смену которому приходит новый этап [137, 138]. Новый этап предвосхищает использование технологий и подходов, отвечающих новому вектору развития науки и науки о материалах, в частности, учитывает энтропийно-экологический фактор, расширяет использование нетрадиционных для классического материаловедения исходных материалов и экологически безопасных технологий при производстве изделий машиностроения. К таким технологиям относится, в частности, метод ЭИЛ, обладающий низким антропогенным воздействием на окружающую среду.

Как показано А.Д. Верхотуровым и его соратниками, в материаловедении поверхности в условиях нового этапа развития науки о материалах, важно использование методологического подхода получения исполнительных поверхностей с функциональными покрытиями [125, 126, 139]. Это можно представить на примере методологической схемы создания исполнительных поверхностей с функциональными покрытиями методом ЭИЛ (рис. 2.5). Как видно, созданию требуемых исполнительных поверхностей предшествует проработка этапа формулировки функционального назначения поверхности материала, изделия, выбора и назначения исходного состава сырья и разработки технологии. При этом функциональное назначение является неотъемлемым, всеобщим признаком и исходным звеном при создании любого средства деятельности, вещества, изделия, в том числе и поверхностей, покрытий получаемых материалов. Можно выделить две большие группы: поверхности компактных (объемных) и порошковых материалов. Важной задачей при выборе и назначении исходного состава, разработке технологии получения требуемых исполнительных поверхностей средств деятельности, в частности, методом ЭИЛ является создание банка данных о составе, структуре, методах и известных технологиях получения свойств поверхностей.

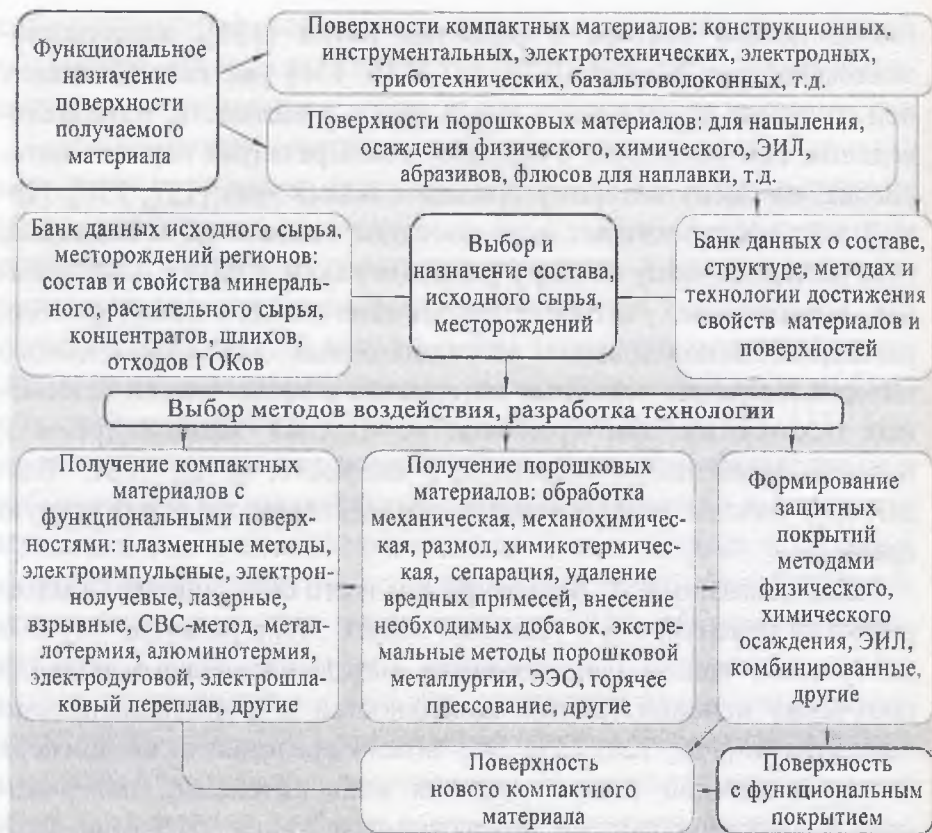


Рис. 2.5. Методологическая схема создания исполнительных поверхностей с покрытиями методом ЭИЛ в условиях нового раздела в развитии науки о материалах – материалогии поверхности

Банк данных значительно облегчает принятие решения по выбору и назначению состав анодного материала [140], в том числе исходного сырья для его производства, как при получении поверхностей конструкционных, инструментальных и других объёмных материалов, так и порошковых при сравнительном выборе методов: физического, химического осаждения, ЭИЛ и других. Важной составляющей банка данных могут оказаться сведения по исходному сырью месторождений регионов. Выбор и назначение исходного состава сырья предопределяет успех выбора методов воздействия и разработки технологии получения как компактных (объёмных), так и порошковых материалов и покрытий.

При выборе важно достижение конечного результата: получения компактных материалов и покрытий изделий, содержащих исполнительные поверхности воздействия и ориентирования, которые могут быть подвергнуты дальнейшей обработке, формированию на них защитных покрытий, либо использованию этих материалов в качестве, например, анодных (объёмных) материалов для ЭИЛ-покрытий [140]. Порошковые материалы могут быть использованы, как для получения компактных, объёмных материалов, так и непосредственно для получения функциональных ЭИЛ-покрытий, предусмотренных, например, на исполнительных поверхностях компактных материалов, на этапе формулировки функционального назначения.

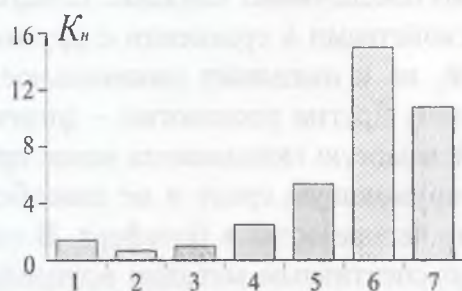


Рис. 2.6. Показатели наукоёмкости,  $K_n$ , некоторых методов упрочнения поверхностей:

1 – гальваническое хромирование, 2 – газоплазменное напыление (порошкового сплава FeCrNi), 3 – электронно-лучевое испарение и конденсация (Cr в вакууме), 4 – вакуум-плазменное осаждение (нитридов титана, хрома, молибдена); 5 – ионное азотирование; 6 – лазерная термообработка; 7 – электроискровое легирование.

В материаловедении поверхности для упрочнения поверхностей деталей предполагается использование различных эффективных и наукоёмких методов, в том числе ЭИЛ, отличающегося, с одной стороны, простотой использования, с другой – наукоёмкостью. Соратником Анатолия Демьяновича, д.т.н. Б.А. Ляшенко выделены методы, отличающиеся высокими значениями коэффициента наукоёмкости  $K_n$  [141] (рис. 2.6). К ним относится ряд технологий поверхностного упрочнения. Как видно, метод ЭИЛ отличается не только простотой обслуживания, но и наукоёмкостью и представляет значительный интерес с точки зрения материаловедения по-

верхности. Он позволяет наносить покрытия в виде легированного слоя с повышенными требованиями к исполнительным поверхностям воздействия, которые во многих случаях машиностроительного производства могут быть достигнуты исключительно с его использованием. В качестве анодных материалов при ЭИЛ, исходя из функционального назначения исполнительных поверхностей деталей машин, широко используют тугоплавкие материалы, другие сплавы. Кроме того, для повышения эффективности ЭИЛ представляет интерес нетрадиционные, новые электродные материалы и их модификации.

С позиций материаловедения ЭИЛ отвечает новому вектору развития науки о материалах [130] и другим её разделам – материаловедению производства, энтропийно-экологической материаловедению, так как не только обеспечивает создание поверхностного слоя с повышенными свойствами в сравнении с другими методами создания покрытий, но и оказывает минимальное влияние на повышение энтропии. Другие технологии – физического, химического осаждения зачастую оказываются менее приемлемыми, как загрязняющие окружающую среду и не способствующие устойчивому развитию человечества в биосфере. В этом направлении ЭИЛ остаётся перспективным методом материаловедения поверхности. Метод ЭИЛ является незаменимым во многих случаях гибкого производства, поэтому, его изучение в материаловедении поверхности с целью получения современных функциональных покрытий актуально. Исходя из функционального назначения исполнительных поверхностей деталей машин, с целью повышения твёрдости и износостойкости, в качестве анодных материалов при ЭИЛ широко используют вольфрамсодержащие твёрдые сплавы [139]. Для повышения эффективности ЭИЛ с использованием таких анодных материалов вызывает интерес их модификация, совершенствование, обусловленные спецификой самого процесса ЭИЛ, изучению которого Анатолий Демьянович посвятил практически всю свою жизнь.

Следует отметить, что за плодотворную работу в Российской академии наук Анатолий Демьянович Верхотуров был неоднократно награждён рядом Почётных грамот: Президента Российской академии наук в 1999, 2011 гг., Почётной грамотой вице-президента РАН (в 2004 г.), Почётными грамотами Президиума

ДВО РАН (в 2001, 2002, 2006, 2007 гг.), Почетной грамотой Губернатора Хабаровского края, а также орденом Ярослава Мудрого в номинации «Элита науки и образования», рядом медалей. Мы гордимся тем, что на Дальневосточной Земле родился и жил такой Человек. Светлая память о Верхотурове Анатолии Демьяновиче навсегда останется в его трудах и наших сердцах.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

История беспристрастно оценивает итоги жизни, поступки и дела людей. «Лицом к лицу лица не увидать, большое видится на расстоянии», – как образно сказал великий русский поэт.

Люди, в память о которых написана эта книга, и события, в которых они участвовали, ушли в прошлое. Каждый из них был личностью в профессиональном, нравственном и общечеловеческом смысле, каждый был гражданином своего Отечества. Они работали в трудных условиях, но благодаря их усилиям, в том числе, мы отметили 75-летие победы в Великой Отечественной войне, выросло несколько поколений граждан нашей страны, не знавших военного лихолетия.

Вторая половина прошлого века с геополитической точки зрения прошла под эгидой «холодной войны» – жестокой и бескомпромиссной борьбы советского народа за выживание в условиях постоянных угроз и рисков.

По мнению многих, мы потерпели поражение в этой войне, поскольку Советский Союз, как система, перестал существовать. Однако в новой России сохранили главное – интеллектуальный и нравственный потенциал народа, предотвратили обвальную деградацию общества. Этот факт дает надежду на развитие нашего социума в современных условиях, сохранение и развитие российской государственности, повышение качества жизни россиян.

Необходимым условием реализации этой надежды является наличие объективных условий развития общества, одним из которых, пожалуй, наиболее важным, является возможность предотвращения внешних угроз – наличие действенной системы защиты от них. Щит Отечества, заложенный нашими старшими товарищами, должен быть и будет прочным и надежным. Это сделают образованные люди, получающие новые знания в различных сферах науки, близкие к производству, заинтересованные в социально-экономическом развитии страны.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Машиностроение в условиях инновационной парадигмы развития производственных систем: Монография / Ю.А. Моргунов, Б.П. Саушкин; под ред. Б.П. Саушкина. – Москва: Московский Политех, 2019. – 250 с.
2. Рузавин Г.И. Методология научного познания. – М.: ЮНИТИ-ДАНА. 2009. – 287 с.
3. Иванов В.В. Стратегические направления модернизации: инновации, наука, образование. – М.: Наука, 2012. – 106 с.
4. Ярошевский М. Г. Логика развития науки и научная школа // Школы в науке / Под ред. С. Р. Микулинского, М.Г. Ярошевского, Г. Кребера, Г. Штейнера. М.: Наука, 1977. – 86 с.
5. <http://informika.ru/text/magaz/newpaper/messedu/cour0010/1800.html> – Электронный ресурс.
6. Павельева Т.Ю. К вопросу об идентификации научных школ // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Философские науки. 2011. № 4. С. 83–90.
7. Павельева Т. Ю. Научные школы в системе науки: философский анализ. – Автореф. дисс. ... докт. филос. наук. – М.: ФГБОУ ВПО «МГТУ «СТАНКИН». 2012. – 48 с.
8. Грезнева О.Ю. Научные школы: принципы классификации // Высшее образование в России. 2004. №5. С. 42–43.
9. Владимиров А.И. О научных и научно-педагогических школах. – М.: Издательский дом «Недра». 2013. – 61 с.
10. Дежина И.Г., Киселева В.В. Тенденции развития научных школ в современной России / М.: ИЭПП. 2008. – 126 с.
11. Митяшкин Д.З. Теоретические основы формообразования при электрохимической обработке. М.: Машиностроение. 1976. – 64 с.
12. Ставицкий Б.И. Из истории электроискровой обработки материалов. – Харьков: ЧФ «ЦентрИнформ», 2013. – 104 с.
13. Румянцев Е.М. Чтобы знали и помнили... Иваново: Изд-во ИГХТА, 1997. – 182 с.
14. Электрохимическая обработка металлов. Мороз И.И. и др., М.: Машиностроение, 1969. – 208 с.



15. Лившиц А.Л., Волков Ю.С. Введение в теорию размерного формообразования электрофизико-химическими методами. – Киев: Вища школа, 1978. – 120 с.
16. Волков Ю.С. Электрофизические и электрохимические процессы обработки материалов: учебное пособие. СПб.: Издательство «Лань», 2016. – 396 с.
17. Основоположники электрических методов и технологий обработки материалов; монография / Под научн. редакцией Б.П.Саушкина. – М.: Изд-во Мосполитеха, 2020. – 213 с.
18. Электрохимическая размерная обработка деталей сложной формы. Головачев В.А. и др. – М.: Машиностроение, 1969. – 198 с.
19. Каримов А.Х., Клоков В.В., Филатов Е.И. Методы расчета электрохимического формообразования. – Казань: Изд-во Казанского университета. 1990. – 386 с.
20. Моргунов Ю.А., Полуянов В.С., Саушкин Б.П. Анализ динамики и выявление тенденций развития наукоемких технологий машиностроения/ Экономические стратегии, 2017, №7(149). – С.110–119.
21. Дежина М., Егирев С. Ведущие научные школы – российский феномен? Электронный ресурс: [http://kapital-rus.ru/articles/article/veduschie\\_nauchnye\\_shkoly\\_rossijskijfenomen/](http://kapital-rus.ru/articles/article/veduschie_nauchnye_shkoly_rossijskijfenomen/).
22. Розов Н.Х. Понятие «научная школа» и проблема финансирования науки в России// М.: Научная цифровая библиотека PORTALUS.RU. Дата обновления 14.11.2007. URL: <http://portalus.ru/modules/shkola/rus> (дата обращения 23.04.2018).
23. Физические эффекты в машиностроении. Справочник./ В.А. Лукьянец, З.И. Алмазова, Н.П. Бурмистрова и др. – М.: Машиностроение. 1993. – 226 с.
24. Капица П.Л. Эксперимент, теория, практика. – М.: Наука. 1977. – 288 с.
25. Соколовский А.П. Научные основы технологии машиностроения. – М.-Л.: Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы. 1955. – 515 с.
26. Бухарова, М. Управление трансфером технологических инноваций: отраслевая цепочка ценностей / М. Бухарова // Про-

- блемы теории и практики управления. – 2013. – № 1. – С. 111–119.
27. 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.: Издательство «Форум», 2013. – 928 с.: ил. – (Высшее образование).
28. Proceeding of International Symposium for Electromashining (ISEM). 1970–2016.
29. Физико-химические методы в производстве газотурбинных двигателей / Под ред. Б.П. Саушкина. – М.: Дрофа. 2002. – 656 с.
30. Schumacher В.М., Krampits R., Kruth J.P. Historical phases of EDM development driven by the dual influence of Market Pull and Science Push. *ProcediaCIRP* 6 (2013). – P. 5–12.
31. Реферативный журнал «Технология машиностроения». 1980–016.
32. Моргунов Ю.А., Саушкин Б.П., Шандров Б.В. Развитие понятийного аппарата технологии машиностроения // Справочник. Инженерный журнал. 2016. № 4. С. 3–7.
33. Ю.А.Моргунов, Саушкин Б.П. Технологические аспекты аддитивного формообразования // Научные технологии в машиностроении. 2016. № 7. С. 4–8.
34. 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.
35. Воеводов А. А. Мировое станкостроение –2015 // Комплект «ИТО». 2016. №5, С. 58–92.
36. Иванов В.В. Инновационная парадигма XXI. – М: Наука. 2013. – 383 с.
37. Лазаренко Б.Р., Лазаренко Н.И. Способ обработки металлов, сплавов и других токопроводящих материалов // А.с. 70010 СССР /Б.И. -1971, №7. – С. 205.
38. Францевич И.Н., Гнесин Г.Г., Курдюмов А.В. Сверхтвёрдые материалы. - Киев: Наук. Думка. –1980. – 296 с.
39. Саушкин Б.П. Электрический разряд в жидких и газовых средах – основа нового поколения методов и технологий ма-

- шиностроительного производства /Электронная обработка материалов. 2004, №1. – С. 8–17.
40. Лазаренко Б.Р., Лазаренко Н.И. Электрическая эрозия металлов. Вып. 1. – М.: Госэнергоиздат, – 1944. – 60 с.
  41. Лазаренко Б.Р., Лазаренко Н.И. Физика искрового способа обработки металлов. – М.: РИОЦБТИ, – 1946. – 76 с.
  42. Лазаренко Б.Р. Электрический способ обработки металлов, сплавов и других токопроводящих материалов // Электронная обработка материалов. – 1967, №5. – С. 3–19.
  43. ГОСТ 25331–82. Обработка электроэрозионная. Термины и определения. М.: Издательство стандартов. 1983. – 9 с.
  44. Лазаренко Б.Р., Лазаренко Н.И. Электрическая эрозия металлов. Вып. 2. – М.: Госэнергоиздат. – 1946. – 32 с.
  45. Золотых Б.Н. Об открытии и развитии электроэрозионной обработки материалов/ Электронная обработка материалов. 2003, №3. – С. 4–9.
  46. Ставицкий Б.И. Почему СССР потерял лидерство в электроискровых технологиях / Оборудование и инструмент. 2006. №№ 2–6. 2007, №№ 1–4.
  47. Левинсон Е.М. Развитие технологии электроискровой обработки в массовом производстве // Труды ЦНИЛ-Элетром АН СССР. Вып.2. – М.: Изд-во АН СССР. – С. 233–247.
  48. Ставицкий Б.И. Электроискровая обработка материалов.— способ Лазаренко на рубеже столетий // Электронная обработка материалов. – 2000, №5. – С. 25–40.
  49. Беленький Б.А. И повторить себя в учениках. – Кишинёв: Изд-во «Штиница». – 1988. – 254 с.
  50. Постановов В.Х., Саушкин Б.П. Научная и инженерная деятельность Б.Н. Золотых в области электроэрозионной обработки материалов.– М.: НИИТМ, 2003. – 42 с.
  51. Болога М.К. Исследования и инновации в Институте прикладной физики / Электронная обработка материалов. 2006, №3. – С. 4–91.
  52. Мицкевич М.К. Исследование явления электрической эрозии в Белоруссии // Электронная обработка материалов. 2003. №2. С. 86–94.

53. Сенецкий Ладислав. Воспоминания словацких машиностроителей к 60-летию электроэрозионных технологий // Электронная обработка материалов. – 2003, № 2. – С. 86–94.
54. Лазаренко Б.Р., Лазаренко Н.И. Изыскание новых применений электричества. Электронная обработка материалов. – 1977, №5. – С. 5–19.
55. Лазаренко Б. Р., Лазаренко Н. И. Прохождение электрического тока через электролиты // Электронная обработка материалов. 1978. № 1. С. 5–9.
56. Золотых Б.Н., Любченко Б.М. Инженерная методика расчета технологических параметров ЭЭО.– М.: Машиностроение, 1981. – 24 с.
57. Фотеев Н.К. Технология электроэрозионной обработки. – М.: Машиностроение, 1980. – 184 с.
58. Верхотуров А.Д., Муха И.М. Технология электроискрового легирования металлических поверхностей.– Киев: Техника, 1983.–181 с.
59. Белкин П.Н. Электрохимико-термическая обработка металлов и сплавов.– М.: Мир, 2005. – 315 с.
60. Софронов И.И., Цуркан И.В., Фатеев В.В. Электроэрозионные процессы на электродах и микроструктурно-фазовый состав легированного слоя. – Кишинев: Штиинца, 1999. – 592 с.
61. Электроэрозионная обработка металлов/ М.К. Мицкевич, А.И. Бушик, И.А. Бакуто. Под ред. И.Г. Некрашевича.– Минск: Наука и техника, 1988. – 216 с.
62. Гитлевич А.Е., Михайлов В.В. Электроискровое легирование металлических поверхностей.– Кишинев: Штиинца, 1985. – 195 с.
63. Елисеев Ю.С., Саушкин Б.П. Электроэрозионная обработка изделий авиационно-космической техники. Под научн. ред. Б.П.Саушкина.– М.: Изд-во МГТУ им. Н. Баумана, 2010. – 437 с.
64. Иванов В.И. Электроискровые толстослойные покрытия повышенной сплошности: формирование, свойства, применение (научное издание, монография). — Вологда: Инфра-Инженерия, 2020. – 206 с.

65. Болога М.К. Академик Борис Романович Лазаренко – первооткрыватель электроэрозионного метода. Электронная обработка материалов. 2010, 46(6). С. 127–135.
66. Membrii Academiei de Ştiinţe a Moldovei. Dicţionar 1961–2006. Ştiinţa 2006. 432 p.
67. Золотых Б.Н. Электроискровой контактный способ упрочнения металлических поверхностей. – М.: Госэнергоиздат, 1951. – 56 с.
68. Золотых Б.Н. Физические основы электроискровой обработки металлов. – М.: ГИТТЛ, 1953. – 107 с.
69. Золотых Б.Н. О некоторых закономерностях искровой электрической эрозии в жидкой диэлектрической среде. Автор. дисс. ... канд. техн. наук – М.: НИИ МЭП, 1947. – 16 с.
70. Золотых Б.Н. О физической природе электроискровой обработки металлов./ Труды ЦНИЛ–ЭЛЕКТРОМ. – М.: Изд. АН СССР, 1957.
71. Золотых Б.Н. Некоторые вопросы качественной теории электрической эрозии в импульсном разряде в жидкой диэлектрической среде./Радиотехника и электроника. Т.IV, №8, 1959. – С. 69–74.
72. Золотых Б.Н. Основные вопросы качественной теории электроискровой обработки./ В сб. «Проблемы электрической обработки материалов. – М.: Изд. АН СССР, 1962.
73. Золотых Б.Н. К вопросу о механизме электрической эрозии металлов в жидкой диэлектрической среде / ЖТФ, Т.29, 1959. – С. 1483.
74. Золотых Б.Н. О физических процессах при электроискровой обработке. /Физика и химия обработки материалов. 1967, №1.
75. Золотых Б.Н. Связь чистоты поверхностей после электроискровой обработки с параметрами единичных лунок. /Вестник машиностроения. 1959, №10.
76. Золотых Б.Н. О расчете некоторых технологических характеристик. /В сб. «Проблемы электрических методов обработки материалов». М.: Изд. АИ СССР, 1960.
77. Золотых Б.Н. Основные вопросы теории электрической эрозии в импульсном разряде в жидкой диэлектрической среде. Дисс. ... докт. техн. наук. – М.: МИЭМ, 1968.

78. Золотых Б.Н. Физические основы электрофизических и электрохимических методов обработки. – М.: МИЭМ, 1975. – 104 с.
79. Золотых Б.Н., Боброва И.В., Челищев Б.Е. Система автоматизации технологической подготовки электроэрозионной обработки. /Сб. докл. 8-го Межд. симп. по электрическим методам обработки. – М.: Внешторгиздат, 1986.
80. Золотых Б.Н., Челищев Б.Е. Математическая теория комплексной автоматизации процесса электроэрозионной обработки. /Сб.пр. 7-го Межд. симп. по электрической обработке материалов. – Бирмингем: Англия, 1983.
81. Золотых Б.Н. 50 лет электроэрозионной обработки материалов: пройденный путь и перспективы дальнейшего прогресса / Электронная обработка материалов. 1994, №1. – С. 4–7.
82. Золотых Б.Н. Мальдер Р.Р. Физические основы электроэрозионной обработки. М.: Машиностроение, 1977. – 43 с.
83. Zolotykh B.N. Modern physical theory of metals electric erosion as the basis for the development of new technologies in EDM. /Proc. Intern. Symp. Electrical Machining. – Lansanne, Switzerland, 1995. – P. 114–116.
84. Золотых Б.Н., Постаногов В.Х., Батьков А.А. Электроэрозионная обработка – основа создания уникальных деталей летательных аппаратов / Электронная обработка материалов. 2000, №5. – С. 8–10.
85. Zolotykh B.N., Postanogov V.X., Batkov A.A. Calculation of EDM Technological parameters for materials of space engineering. /Proc. Int. Symp. ElectricalMach. – Bilbao, Spain. 2001. – P. 391–404.
86. Золотых Б.Н. Методы расчета технологических параметров электроэрозионной обработки. – М.: МГИЭМ, 1999. – 35с.
87. Седыкин Ф.В. Размерная электрохимическая обработка деталей машин. – М.: Машиностроение, 1976. – 302 с.
88. Оборудование для размерной электрохимической обработки деталей машин / Под ред. Ф.В. Седыкина. – М.: Машиностроение, 1980. – 277 с.
89. Приспособления для электрофизической и электрохимической обработки/ В.В. Любимов, Н.И. Иванов, Е.И. Пупков и др. М.: Машиностроение, 1988. – 176 с.

90. Основы повышения точности электрохимического формообразования /Ю.Н. Петров, Г.Н. Корчагин, Г.Н. Зайдман, Б.П. Саушкин. – Кишинев: Штиинца, 1977.
91. Электродные процессы и процессы переноса при электрохимической размерной обработке металлов/ А.И. Дикусар, Г.Р. Энгельгардт, В.И. Петренко, Ю.Н. Петров. – Кишинев: Штиинца, 1984
92. урьянов Г. В. Электроосаждение износостойких композиций. Отв. ред. Ю. Н. Петров. – Кишинев : Штиинца, 1985. – 238 с.
93. Электрохимическая обработка изделий из титановых сплавов/ Б.П. Саушкин, Ю.Н. Петров, А.З. Нистрян, А.В. Маслов. – Кишинев: Штиинца, 1988.
94. Термокинетические явления при высокоскоростных электродных процессах/А.И. Дикусар, Г.Р. Энгельгардт, А.Н. Молин. – Кишинев: Штиинца, 1989.
95. Паршутин В.В., Береза В.И. Электрохимическая обработка твердых сплавов. – Кишинев: Штиинца, 1990.
96. Петров Ю.Н. «Электролитическое осаждение железа».– Кишинев: Штиинца, 1990. – 196 с.
97. Зайдман Г.Н., Петров Ю.Н. Формообразование при электрохимической размерной обработке. – Кишинев: Штиинца, 1990.
98. Саушкин Б.П. Выбор и применение электролитов для электрохимической обработки. – М.: ВНИТЭМР, 1990.
99. Физико-химические методы модификации свойств поверхностного слоя деталей машин / Б.П.Саушкин, С.Е.Кузенков, Масликов. – Липецк: ЛГТУ, 1998.
- 100.Саушкин Б.П., Айзельман И.А. Основы технологии. – Воронеж: ВГТУ, 1998.
- 101.Физико-химические методы в производстве газотурбинных двигателей/ Ю.С. Елисеев, В.В. Крымов, Б.П. Саушкин и др.; под ред. Б.П. Саушкина. – М.: Дрофа, 2002. – 656 с.
- 102.Моргунов Ю.А., Саушкин Б.П., Саушкин Г.Б. Электрохимическая обработка изделий авиационно-космической техники; под ред. Б.П. Саушкина. – М.: ФОРУМ, 2013. – 456 с.
- 103.Наукоемкие технологии машиностроительного производства. Физико-химические методы и технологии / Ю.А. Моргунов,

- Б.П. Саушкин, С.Б. Саушкин; под ред. Б.П. Саушкина. – М.ФОРУМ, 2013. – 928 с.
104. Саушкин Б.П., Моргунов Ю.А., Хомякова Н.В. Физико-химические методы и технологии обработки. – М.: Изд-во Мосполитеха, 2018. – 108 с.
105. Моргунов Ю.А., Саушкин Б.П. Машиностроение в условиях инновационной парадигмы развития производственных систем; под ред. Б.П. Саушкина. – М.: Изд-во Мосполитеха, 2019. – 380 с.
106. Моргунов Ю.А. Саушкин Б.П. Введение в электрохимическую кинетику. – М.: Изд-во Мосполитеха, 2020. – 110 с.
107. Атанасянц А.Г. Анодное поведение материалов: Учебное пособие для вузов. М.: Metallurgiya, 1989. – 151 с.
108. Атанасянц А.Г. Электрохимическое изготовление деталей атомных реакторов. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 176 с.
109. Атанасянц А.Г. Электрохимическое изготовление деталей машин // Итоги науки. Электрохимия. – Т. 22. – М.: ВИНТИ, 1985. – С. 204–226.
110. Верхотуров А.Д. Некоторые вопросы теории и практики метода электроискрового легирования металлических поверхностей // Физика и химия обработки материалов. № 3, 1993. С. 60–68.
111. Верхотуров А.Д., Гордиенко П.С., Достовалов В.А., Коневцов Л.А., Панин Е.С., Достовалов Д.В. Высокоэнергетическое локальное воздействие на вольфрамсодержащие материалы и металлы (к 100-летию со дня рождения Б.Р. Лазаренко). Владивосток: Изд-во ДФУ, 2012. – 472 с.
112. JOM'S The Greatest Moments in Materials' Science and Engineering // JOM, N 2, 2006. pp. 1–8.
113. Voting for JOM's Ten Greatest Materials Moments: Fact Sheet // JOM, N 9 (26), 2006. pp. 1–9.
114. Комаров С.М. Календарь материалововеда // Химия и жизнь. 2006, № 11. С. 18–21.
115. Верхотуров А.Д. Материалогия. Вестник ДВО РАН. 2004, № 5. С. 80–86.
116. Кун Т. Структура научных революций. М.: Изд-во «Прогресс», 1977. – 300 с.



- 117.Верхотуров А.Д., Шпилёв А.М., Евстигнеев А.И. Основы материаловедения: монография. Т.1. Владивосток: Дальнаука, 2012. – 270 с.
- 118.Верхотуров А.Д., Кузьмичёв Е.Н., Коневцов Л.А. Перспективные высоколегированные вольфрамом сплавы, полученные с использованием вольфрамсодержащего минерального сырья // Учёные записки КнАГТУ, № III–1(23). 2015. С. 74–80.
- 119.М.В. Ломоносов. Первые основания металлургии и рудных дел. – Санкт-Петербург: Императорская Академия наук. – 1763. – 85 с.
- 120.Соловьёв Ю.И. Николай Семёнович Курнаков: 1860–1941. М.: Наука, 1986. – 272 с.
- 121.Тананаев И.В. Основные этапы развития неорганического материаловедения в СССР. Киев. Наукова думка, 1983. С. 8–29.
- 122.Самсонов Г.В., Прядко И.Ф., Прядко Л.Ф. Электронная локализация в твёрдом теле. М.: Наука, 1976. – 338 с.
- 123.Верхотуров А.Д., Шпилёв А.М., Евстигнеев А.И., Коневцов Л.А. К вопросу становления материаловедения (по материалам книги Р. Кана «Становление материаловедения») /Профессор А.Д. Верхотуров. Избранные труды и воспоминания. В 3 т. Т. 3. Материаловедение; под ред. А.И. Евстигнеева, Б.Я. Мокрицкого, В.А. Кима. Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВО «КнАГТУ», 2016. (313 с.) С. 58–70.
- 124.Балакшин Б.С. Основы технологии машиностроения. М.: Машиностроение, 1969. – 358 с.
- 125.Верхотуров А.Д., Коневцов Л.А. Создание методологии частной науки и её разделов // Труды ГОСНИТИ, 2010. Т. 106. С. 132–136.
- 126.Верхотуров А.Д., Иванов В.И., Коневцов Л.А. О методологии материаловедения и её разделов для устойчивого развития дальневосточного региона // Социальные и гуманитарные науки на Дальнем Востоке. № 2 (46). 2015. С. 153–160.
- 127.Верхотуров А.Д., Мокрицкий Б.Я., Пустовалов Д.А. Метод как основа новой парадигмы материаловедения // Научно-технический журнал Новости материаловедения. Наука и техника. № 1 (13), 2015. С. 1–14.

- 128.Верхотуров, А.Д., Мокрицкий Б.Я., Пустовалов Д.А., Кравченко Е.Г. К вопросу о новой парадигме материаловедения // Ученые записки КнАГТУ. №3–1 (19). 2014. С. 85–95.
- 129.Верхотуров А.Д., Воронов Б.А., Коневцов Л.А. Энтропийно-экологическая материаловедение // Экология промышленного производства. 2012, № 1. С. 5–15.
- 130.Верхотуров А.Д., Достовалов В.А., Гордиенко П.С., Коневцов Л.А. Михаил Васильевич Ломоносов и современная наука о материалах. Владивосток: Изд. дом Дальневосточный Федеральный ун-т, 2012. – 92 с.
- 131.Верхотуров А.Д., Воронов Б.А., Коневцов Л.А. В.И. Вернадский и изменение вектора развития наук при переходе человечества из биосферы в ноосферу / Профессор А.Д. Верхотуров. Избранные труды и воспоминания. В 3 т. Т. 1. Общие проблемы науки о материалах на современном этапе развития человеческой цивилизации. / ред. Б.А. Воронов, Ю.А. Давыдов; науч. ред.: В.М. Макиенко, Л.А. Коневцов. Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2016. 384 с. (С. 28–40).
- 132.Коневцов Л.А. Производство материалов, экологические проблемы и материаловедение // Физика бессвинцовых пьезоактивных и родственных материалов (Анализ современного состояния и перспективы развития): Тр. VII Междунар. междисциплинар. молодёжн. симпоз. (Ростов/Д, 20–24 сент. 2018): в 2 т. Изд-во ЮФУ, 2018. Т. 2. (431 с.). С. 17–22.
- 133.Верхотуров А.Д., Воронов Б.А., Макиенко В.М., Коневцов Л.А. Минералогическая материаловедение: 1 – Научная база создания новых композиционных материалов из минерального сырья ДВ региона в условиях его устойчивого развития // Ученые записки КнАГТУ. 2014, № II–1 (18). С. 86–94.
- 134.Верхотуров А.Д., Макиенко В.М., Коневцов Л.А., Строителев Д.В., Романов И.О. Получение новых материалов в Дальневосточном регионе: монография. В 2 ч. Ч. 1 / ред. Верхотуров А.Д. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, – 2013. – 293 с.
- 135.Коптюг В. А., Матросов В. К., Левашов В. К. Новая парадигма развития России с XXI века. Комплексные исследования проблем устойчивого развития: идеи и результаты. М.: Asademia, 2000. – 460 с.

136. Левашов В. К. Устойчивое развитие общества: парадигма, модели, стратегия. М.: Academia, 2001. – 176 с.
137. Верхотуров А.Д., Воронов Б.А., Коневцов Л.А. Материалогия. Раздел 2.4. / Основы материалогии: монография. Т. 1. Верхотуров А.Д., Шпилёв А.М., Евстигнеев А.И. Владивосток: Дальнаука, 2012 (270 с). С. 230–267.
138. Профессор А. Д. Верхотуров. Избранные труды и воспоминания. Т. 3. Материалогия. Воспоминания о пути становления науки о материалах в условиях Дальнего Востока / ред. А. И. Евстигнеев, Б. Я. Мокрицкий, В. А. Ким. – Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВО «КнАГТУ», 2016. – 313 с.
139. Верхотуров А.Д. Шпилёв А.М., Коневцов Л.А. Предмет исследования, концептуальные и методологические основы становления и развития материалогии // Химическая технология. 2008, № 5. С. 197–204.
140. Николенко С.В., Верхотуров А.Д., Новые электродные материалы для электроискрового легирования. Владивосток: Дальнаука, 2005. – 219 с.
141. Ляшенко Б.А. О критериях адгезионно-когезионной равнопрочности и термостойкости защитных покрытий // Проблемы прочности. 1980, № 5. С. 114–117.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Балмасов Анатолий Викторович**, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой технологии электрохимических производств Ивановского химико-технологического университета.

**Болога Мирча Кириллович**, д.т.н. профессор, академик АН Республики Молдова, главный редактор журнала «Электронная обработка материалов».

**Вячеславова Ольга Фёдоровна**, д.т.н., профессор, профессор Московского политехнического университета.

**Коневцов Леонид Алексеевич**, к.т.н., старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт материаловедения Хабаровского НЦ ДВО РАН.

**Кузьмичёв Евгений Николаевич**, к.т.н., старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт материаловедения Хабаровского НЦ ДВО РАН.

**Моргунов Юрий Алексеевич**, к.т.н., доцент, декан факультета Московского политехнического университета, почетный работник высшего профессионального образования РФ; награжден медалью им. С.П. Королёва Федерации космонавтики РФ.

**Николенко Сергей Викторович**, д.т.н., директор Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института материаловедения Хабаровского НЦ ДВО РАН.

**Петрухин Николай Степанович**, зам. директора ООО «Центр-насоссервис» (г. Тула). За личный вклад в развитии машиностроения награжден медалью «За заслуги перед отечеством» II степени, медалью «Трудовая доблесть».

**Постаногов Владимир Харлампиевич**, к.т.н., лауреат Государственной премии СССР в области науки и техники, заслуженный машиностроитель РФ.

**Саушкин Борис Петрович**, д.т.н., профессор Московского политехнического университета.

**Тимофеев Юрий Сергеевич**, к.т.н., генеральный директор ОАО АНПК «Блик» (Тульский машиностроительный завод). Лауреат Государственной премии СССР, трижды лауреат премии им. С.И. Мосина.

*Научное издание*

**ОСНОВОПОЛОЖНИКИ  
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МЕТОДОВ И ТЕХНОЛОГИЙ  
ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ**

*Монография*

*Под научной редакцией д.т.н., профессора  
Саушкина Бориса Петровича*

*Издается в авторской редакции  
Компьютерная верстка: Н.Р. Гуськова  
Оформление обложки: И.Е. Эффа*

Подписано в печать 31.08.20  
Формат бумаги 70×100/16. Усл. печ. л. 13,25  
Тираж 100. Заказ № 42

Издательство Московского Политеха  
115280, Москва, Автозаводская, 16  
[www.mospolytech.ru](http://www.mospolytech.ru); e-mail: [izdat.mospolytech@yandex.ru](mailto:izdat.mospolytech@yandex.ru);  
тел. (495) 276-33-67

Отпечатано в типографии издательства Московского Политеха

Мо  
По  
пе  
np  
B.I

**ОСНОВОПОЛОЖНИКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МЕТОДОВ И ТЕХНОЛОГИЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ**

